



EOF2026
eof.az



GƏLƏCƏYİN MÜHƏNDİSİ

TƏLƏBƏLƏRİN I ELMİ-TEXNİKİ KONFRANSI



24-25 APREL 2026
QARABAĞ UNIVERSİTETİ
XANKƏNDİ, AZƏRBAYCAN

Tezislər Topusu

EOF2026 Konfransı, Azərbaycan Respublikasında 2026-cı ilin "Şəhərsalma və Memarlıq İli" elan edilməsinə dair Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 22 dekabr 2025-ci il tarixli Sərəncamına uyğun olaraq, "**Şəhərsalma və Memarlıq İli**"nə həsr olunur.



GƏLƏCƏYİN MÜHƏNDİSİ

TƏLƏBƏLƏRİN I ELMİ-TEXNİKİ KONFRANSI

24-25 Aprel 2026, Qarabağ Unversiteti
Xankəndi, Azərbaycan



EOF2026
eof.az

WWW.EOF.AZ

Təşkilatçı

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti
Xankəndi, Azərbaycan

Fəxri Sədr

Şahin Bayramov

Sədr

Hüseyn Mirzəyev

Həmsədrilər

Hüsrev Kastacı

Şamil Hübətov

Elmi Komitə

- Ürfət Nuriyev, QU
- Qabil Adilov, QU
- Gülnar Salmanova, QU
- Orxan Güləhmədov, QU
- Elvin Əlizadə, QU
- Nigar Abasova, QU
- Tərən Əliyev, QU
- Vəhid Gəruslu, Queen University, Great Britain
- Telman Kərimli
- Reha Metin Alkanır, İTÜ
- Ceyhun Musayev, AzMIU
- Osman Mirzəyev, BMU
- Tərənə Əliyeva, UNEC
- Manafəddin Namazov, AzTU
- Abbas Mehdiyev, BDU
- Şirmayıl Bağirov, BDU
- Yusif Sevdimaliyev, BDU
- İbrahim Həbibov, ADNSU
- Vüqar Mustafayev, MDU
- Aidə Mustafayeva, MDU

Təşkilati Komitə

- Elçin Quliyev - sədr, QU
- Nərgiz Mehdiyeva, QU
- Ülviyyə Quliyeva, QU
- Nurlan Cümşüdoğ, QU
- Müzəffər Kərimbəyli, QU
- Fuad Həsənov, QU
- Orxan Həsənli, QU

Mündəricat

Bölmə: Süni İntellekt və Maşın Öyrənməsi

1.	Süni İntellekt Modellərinin İnkişaf Limitləri Elməddin Heydarov	5
2.	Bridging the Semantic-Control Gap: A Fuzzy-Agent Framework for LLM-Driven Robotic Navigation Chichak Abdullayeva, Aysun Abdullayeva	8
3.	"Ağıllı Kənd" Layihələrində Enerji Sərfiyyatının Maşın Öyrənməsi ilə Optimallaşdırılması Ömər Əliyev, Elməddin Hüseynov	12
4.	Deep Learning Approaches to Stock Price Forecasting: A Reproducible Real-Data Benchmark on AAPL Esref Alizade, Korhan Günel, Arif Gürsoy	15
5.	Süni İntellekt Modellərində Hallusinasıya Problemi və onun Kritik Qərar Sistemlərində İdarə Olunması İsgəndər Məmmədov	19
6.	A Comparative Analysis of LSTM and Transformers for Sign Language Recognition Yusif Hasanli, Sevinc Abdullayeva, Elnur Mammadov, Mehmed Ahmedov, Rahman Islamzada	22
7.	Trust-Aware Optimization of Federated Learning-Based Artificial Intelligence Systems Elvin Aliyev, Chinara Guliyeva	24
8.	The Role of Machine Learning in Modern Applications Haji Farajov	27
9.	Süni intellektin müasir iş bazarına təsiri və gələcək perspektivləri Məhəmməd Əhmədov	29
10.	Çay Daşqınlarının Erkən Xəbərdarlığında Edge AI: Kameraların Süni İntellektlə Təchiz Edilməsi Şəbnəm Məmmədova, Əlicabbar Muradov, Rasim Xəlilov, Tuncay Nəzərli, Əli Əlixanov	30
11.	Dataların toplanması və emalı ilə meşə yangınlarının proqnozlaşdırılması Günel Fərzəlizadə, Mənsur Nəbiyev, Ülkər Veyisova	34
12.	Seysmik məlumatlarda küyün azaldılması və optimallaşdırma üsulları İlqarə Rüstənzadə, Cəvahir Ağazadə	36
13.	Predictive Model for Optimal Business Location Selection Based on Artificial Intelligence and GIS Data Emil Akbarov, Fidan Baghirova, Leyla Muradkhanli	38
Bölmə: Mexanika və İnşaat Mühəndisliyi		
14.	Yeni Şuşa Məscid Kompleksinin Tikintisində Geodeziya Təminatının Mərhələləri Cəfər Cəfərli, Rəna Həsənova Baba-zadə	41
15.	Mövcud Yaşayış Binasının Təmiri Zamanı Geodeziya Ölçmə İşlərinin Tətbiqi İlqar İsgəndərli, Cumay Aslanov, Rəna Həsənova Baba-zadə	45
16.	Çoxzamanlı peyk məlumatları əsasında Gədəbəy rayonunda vegetasiya örtüyünün dinamikasının təhlili Qaragöz İsgəndərzadə	48
17.	Optimization of Burner Geometry for Reducing NOx Emissions Tamilla Khankishiyeva, Javid Mustafayev	51
18.	Mexaniki Pakerin İqtisadi Səmərəliliyinin Yüksəldilməsi Osman Mirzəyev, Fatima Məmmədova	54
19.	Metal Konstruksiyalarda Korroziyanın Mexaniki Dayanıqlığa Təsiri Kənan Qəhrəmanov	59
20.	Neft-mədən avadanlığının plastik kütlədən hazırlanan detallarının keyfiyyətinin tökmə rejimlərdə asılılığının tədqiqi Nailə Həsənova	65
21.	Robototexniki Komplekslərin Tədqiqi Sahələrində Mövcud Diaqnostik Vasitələrin Təhlili Lalə Quliyeva	67
22.	AzPOS dəstəqli CHCNAV GPS ilə inşaatda reper təyini və planalma Səriyyə Xuduyeva, Şəbnəm Məmmədova, Rəna Həsənova Baba-zadə	71
Bölmə: Kompüter Mühəndisliyi		
23.	Süni İntellektlə Təchiz Olunmuş Mobil Robotların Naviqasiya Problemləri Nurlan Rəsulzadə	74

24. Transformation of Programming in the Age of Artificial Intelligence: The Future of IT Education and the Developer Role Elnur Mammadov	77
25. Elektron Sənəd Sistemlərində Məlumat Emalının Səmərəliliyi Elmira Xəlilova	81
26. Tədrisin Rəqəmsallaşdırılması və “Ağıllı Kampus” Konsepsiyası Ülkər Veyisova, Günel Fərzəlizadə, Aysel Fərzəlizadə	85
27. Müasir Oyun Tərtibatında Dizayn, Performans və Oyunçu Təcrübəsinin Qarşılıqlı Əlaqəsi Əkrəm Hüseynli, Bəhrəm Əzizov, Asif Paşayev	87
28. An Approximate Solution Method for the Multidimensional Knapsack Problem Based on Vector Relations. Aysu Huseynzade	89
29. System architecture and technologies of mobile intelligent information systems in medicine Emin Tavakkulov	92
30. Süni İntellektin 2030-cu ilə qədər İT və Mühəndislik Sahəsinə Təsiri Səid Saruxanov, Nicat Orucov	95
Bölmə: Elektrik və Elektronika Mühəndisliyi	
31. Azərbaycanda üzən günəş panellərinin işinin tədqiqi İsrafil Əhmədov	97
32. Günəş Panellərinin Təmizlənməsi üçün İnnovativ Robot Sisteminin İşlənməsi: TechniCleanSun Layihəsi Murad Qədirli	100
33. Mədən Sənayesində Əşyaların İnterneti (IoT) Tətbiqinin Təhlili və Perspektivləri Səidə Həsənli	103
34. SafeMining 4.0: Smart Wearable Safety System for Underground Mines Aytaj Mirzayeva, Saida Hasanli, Orkhan Gulahmadov	106
35. Bərpa Olunan Enerji Sistemlərində Süni İntelekt Metodlarının Müqayisəli İcmalı Mahir Əliyev	109
36. Mədən İşçiləri üçün IoT Əsaslı Ağıllı Təhlükəsizlik Kaskasının Dizaynı və Tətbiqi Fəridə Mikayızadə, Elgün Rəfiyev, Nicat Orucov, Səid Saruxanov, Ülvi Əliyev	112
37. EnerGoApp: Smart, Alternative Fueled EV Charging Station Izzat Qasimov, Zeynalabdin Qurbanov, Orkhan Gulahmadov	115
Bölmə: İnförmasiya Təhlükəsizliyi	
38. FreeBSD analizi : Kiber-Təhlükəsizliyin Təməlləri Ləman Əzizli	118
39. IoT Şəbəkələri üçün Zero Trust Arxitekturası: Ağıllı Kənd Ekosistemlərinə Tətbiqi Zəhra Məmmədli	121
40. IDS və IPS Sistemlərinin Müqayisəli Təhlili və Effektivliyi Nihad Xəlilov	123
41. IIoT Şəbəkələrində TSCH Zamanlaması üçün Gücləndirilmiş Öyrənmə Yanaşmalarının Müqayisəli Araşdırması Ayxan Şirinzadə	126
42. İnförmasiya Mərkəzlərində Kibertəhlükəsizlik Tədbirləri Elgün İszadə	129
43. Cybersecurity Framework for Patient Data Protection in Mobile Intelligent Health Monitoring Systems Emin Tavakkulov	133
Bölmə: Logistika və Nəqliyyat Texnologiyaları	
44. Davamlı Şəhər Logistikasının Formalaşdırılması: Beynəlxalq Təcrübə və Tətbiq İmkanları Nərmin Orucova	135
45. Ələt Azad İqtisadi Zonasında Multimodal Daşımaların İnkişafı və Nəqliyyat İnfrastrukturunun Rolu Rəşad Ağazadə, Tural Həmidov, İlqar Həsənov, Araz Əliyev, Elvin Hüseynov	142
46. Sıx Məskunlaşmış Şəhər Ərazilərində Tıxac və Onun Aradan Qaldırılması Yolları Xanım Babayeva	147
47. Gündəlik Həyatda Dəmir Yolu Nəqliyyatının Rolu Fatimə Əfəndi, Şəfiqə Musayeva, Ayşən Rüstəmli, Mülayim Osmanova, Səlim Məmmədov	152

48. Şəhər nəqliyyatının tıxacları: onun iqtisadi artıma təsiri və tıxac xərclərinin tanınması Azad Ədilov	155
49. Şəhər logistikası və şəhər nəqliyyatı problemlərinin təhlili Ülviyyə Hüseyinzadə	160
50. Mühəndislik Sahəsində İnnovativ Həllərin Əqli Mülkiyyət Hüququ ilə Qorunması Nərminə Məhərrəmov	164
51. Qarabağ Regionunda Mürəkkəb Dağlıq Relyef Şəraitində Logistik Təminat Sisteminin Təhlili Şəlalə Cəlilova, Orxan Həsənlı	167
52. Şərq-Qərb İstiqaməti Üzrə Dəmiryol Nəqliyyatı ilə Daşımalarda Yaranan Problemlərin Təhlili Leyla Həsəratova, Fərid Məmmədov	171
53. Pandemiya və Regional Münaqişələrin Beynəlxalq Logistik Axınlara Təsirinin Sistemli Təhlili Şəhanə Əli, Fuad Həsənov	174
54. Azərbaycanın Nəqliyyat-Logistika Sektorunda Təhsil və İstehsalat İnteqrasiyasının Strateji Perspektivləri Kənan Nəcəfli, Orxan Həsənlı	178
55. Yol Hərəkəti və Nəqliyyat Təhlükəsizliyi üzrə Qanunvericilik Elvin Həsənov, Elvin Allahverdizadə, Murad Gülməmmədov, Günel Soltanova	181
56. AETR Sazişinə Əsasən Sürücülərin İş və İstirahət Rejiminin Təhlükəsizliyə Təsiri Fərrux Mustafayev	184
57. Yaşıl Logistik Konsepsiyasında Nəqliyyatın Ağıllı İdarəetmə Sistemlərinin Təhlili Mirmələk Əzizova, Fuad Həsənov	187
Bölmə: Təbiət elmləri (riyaziyyat, fizika, kimya və s.)	
58. Energy Efficiency Optimization in Sustainable Chemical Processes Nazli Məmmədova	190
59. Thermal Properties of Polypropylene Nanocomposite Samples Modified with Na ⁺ Montmorillonite Rəsmiyyə Məmmədova, Səriyyə Xudiyeva, Gunay Suleymanova	193
60. Antibiotic Persistence in Anaerobic Digestion Systems İsmayil İbadov	195
61. Fragment-Based DFT Screening of MOF Linkers for Selective Pb ²⁺ Capture in Post-Conflict Soils Mahammadali Ayrəlov	198
62. Kosmik Referanslı Sürət Sinifləndirməsi Nüsrət Əhmədov	201
63. Mathematical Foundations of Image Compression and Recognition using Singular Value Decomposition (SVD) Murad İsmayilov	203
64. Numerical Analysis of Non-linear Heat Transfer in Multi-layer Biological Tissues using the Network Simulation Method Murad Xənkəşiyev	206
65. Hematoloji Analizatorların Keyfiyyətinə Nəzarət və Standartlaşdırılma Əziz Vəlilı, Akif Xidirov	209
66. Dielectric and Thermo-Kinetic Properties of SiC/PS Composites Sevinj Həmidova, Lala Gəhrəmanlı, Vusal Məmmədov	212
67. Nanotexnologiyanın Neft Yataqlarının İstismarında Tətbiqi Nəhid Əliyev, Murad Qədirlı	215
68. İqlim Dəyişmələrinin Kür-Araz Çay Hövzəsinin Hidrometeoroloji Rejiminə və Su Resurslarına Təsiri Höküməxanım Əliyeva, Aysel Cəlilova, Təmerlan Məhdiyev	219
69. Capillary Hysteresis Management Strategies for Improved Oil Displacement Efficiency Bayram Gəsimov	222
70. Gravitational Lensing and The Role of Dark Matter Nəbi Şadiyev	226
71. Growth-Mechanism Driven Engineering of CdS Nanostructures: SILAR vs Sonochemical Synthesis for Optoelectronics Şəfiqə Alakbarova, Lala Gəhrəmanlı	229



Süni İntellekt Modellərinin İnkişaf Limitləri

Elməddin Heydarov

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan
heydarovmeddin2@gmail.com

Xülasə

Son illər süni intellekt sahəsində gedən yarış Böyük Dil Modellərini (LLM) çox sürətlə böyütmüşdür. Modelləri böyütdükcə yaxşılaşır — bu fərziyyə "Miqyaslanma Qanunları" adlanır. Ancaq bu böyümə sonsuz resursa arxalanır. Realda isə resurslar məhduddur. Bu işdə mən LLM-lərin qarşısına çıxan dörd əsas maneəni araşdırıram. Birincisi, təlim və iş xərclərinin eksponensial artması və buradan yaranan "Sİ köpüyü" riskidir. İkincisi, çiplərdəki fiziki limitlər — silikon texnologiyasının 2 nm həddində kvant səviyyəsində problemlərlə üzləşməsi, Yaddaş Divarı və CoWoS qablaşdırma tıxacıdır. Üçüncüsü, məlumat mərkəzlərinin böyük həcmli enerji və su istehlakıdır; burada Jevons paradoksu səmərəliliyin faydasını udur. Dördüncüsü isə keyfiyyətli insan mətnlərinin tükənməsi və süni məlumatla təlimin gətirdiyi Model Çökməsi fenomenidir. Məlumatları Stanford HAI, Epoch AI, Beynəlxalq Enerji Agentliyi (IEA) hesabatlarından və Nature jurnalında dərc olunan məqalələrdən götürmüşəm. Araşdırmanın nəticəsi belədir: sadəcə böyütmək yolu tezliklə tıxaqlara çatacaq. Davamlı inkişaf üçün kiçik ixtisaslaşmış modellərə və enerjiyə qənaət edən yeni arxitekturalara keçid lazımdır.

Açar sözlər: Böyük Dil Modelləri, Miqyaslanma Qanunları, Model Çökməsi, Yaddaş Divarı, Texnoloji Davamlılıq

Giriş

Süni intellekt sahəsində son illər çox sürətli dəyişikliklər baş verir. 2017-ci ildə Transformer arxitekturası təqdim olunduqdan sonra (Vaswani və digərləri, 2017) Böyük Dil Modelləri (LLM) gündəlik həyata, sənayeyə və elmi tədqiqatlara güclü təsir göstərməyə başladı. Bu sahə həm akademik, həm də iqtisadi baxımdan kritik əhəmiyyət daşıyır.

Hal-hazırda sənaye "Miqyaslanma Qanunları" prinsipini izləyir: modeli böyütdükcə performans yüksəlir. GPT-3, GPT-4, Gemini Ultra və Grok 4 bu fikri təsdiqlədi. Ancaq son hesabatlar göstərir ki, bu trayektoriya uzun sürə bilməz. Cottier və digərləri (2024) təlim xərclərinin eksponensial artımını qeyd edir; IEA (2025) qlobal enerji yükü problemini, Shumailov və digərləri (2024) isə süni məlumatla təlimin gətirdiyi deqradasiya problemini ortaya qoyur. Bu problemlər ayrı-ayrı tədqiq olunsa da, vahid bir çərçivədə birləşdirilməmişdir. Mən bu tezisə dörd fundamental maneəni — iqtisadi, aparat, enerji-ekoloji və məlumat tərəfdən — empirik məlumatlar əsasında bir yerdə analiz etməyə çalışıram. Məqsəd ondan ibarətdir ki, mövcud yanaşmanın limitləri aydın göstərsin və alternativ inkişaf istiqamətləri təklif edilsin.

Tezisin strukturu belədir: növbəti bölmədə tədqiqat metodu və istifadə edilən mənbələr təqdim olunur, oradakı alt-bölmədə əsas riyazi ifadə və qrafik material verilir. Sonra dörd istiqamət üzrə nəticələr ardıcıl izah edilir. Yekun bölmə nəticələri ümumiləşdirir və təkliflərimi göstərir.

Tədqiqat metodu

İşim sistemli ədəbiyyat icmalına və ikinci dərəcəli kəmiyyət məlumatlarının meta-sintezinə əsaslanır. Əsas mənbələr aşağıdakılardır: Stanford HAI AI Index Report (Maslej və digərləri, 2025), Epoch AI hesabatları (Cottier və digərləri, 2024; Sevilla və digərləri, 2024; Villalobos və digərləri, 2024), IEA "Energy and AI" Special Report (IEA, 2025) və Shumailov

və digərlərinin (2024) Nature-də dərc olunan məqaləsi. Rəqəmlər dörd istiqamət üzrə yan-yana qoyulub müqayisə edilir.

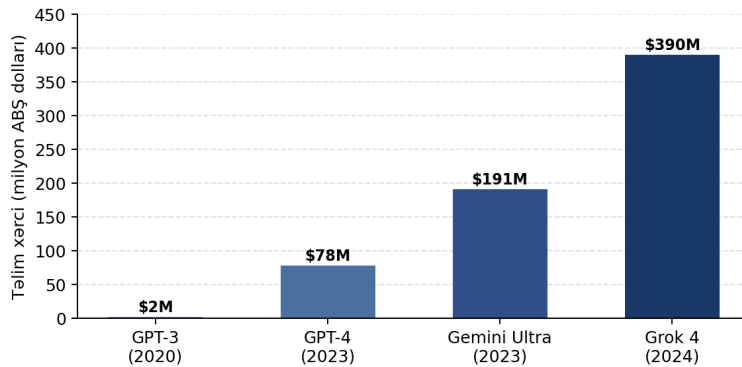
Riyazi ifadələr və qrafik materiallar

Aparat limitlərinin riyazi ifadəsi üçün Roofline modeli istifadə olunur. Bu modelə görə sistemin praktiki performansı aşağıdakı düsturla məhdudlaşır:

$$P = \min(\pi, \beta \times I) \quad (1)$$

Burada π — çipin pik hesablamada gücü (FLOPS), β — yaddaşın buraxılış zolağı (GB/s), I isə əməliyyat intensivliyi (FLOP/bayt) deməkdir. LLM-lərin auto-regresiv işi aşağı I dəyərinə malik olduğu üçün sistem "memory-bound" zonaya düşür (Sevilla və digərləri, 2024).

İqtisadi miqyasın eksponensial xarakteri Şəkil 1-də göstərilir. Burada dörd əsas modelin amortizasiyalı təlim xərci müqayisə olunur.



Şəkil 1. Qabaqcıl LLM modellərinin amortizasiyalı təlim xərcləri (milyon ABŞ dolları).
Mənbə: Cottier və digərləri (2024).

İqtisadi limitlər və ROI problemi

Epoch AI-nin hesablamalarına görə (Cottier və digərləri, 2024) təlim xərcləri 2016-dan bəri ildə $2.4\times$, 2020-dən sonra isə $3.5\times$ artır. Yəni xərclər təxminən hər 7 aydan bir iki qat çoxalır. GPT-4 üçün 78 milyon, Gemini Ultra üçün isə 191 milyon dollar hesablanmışdır. Grok 4-ün təlim gücü 5×10^{26} FLOP ətrafındadır — GPT-3 ilə müqayisədə təxminən 1600 dəfə artımdır. IEA (2025) göstərir ki, 2025-ci ildə böyük texnoloji şirkətlərin məlumat mərkəzlərinə illik kapital xərci 400 milyard dolları keçmişdir. Buna baxmayaraq Xalis Gəlir Saxlama (NRR) göstəricisi iri Sİ bazarlarında 76%-ə enir, inference mərhələsi isə Ümumi Mülkiyyət Dəyərinin (TCO) 60–80%-ni təşkil edir. Yəni xərclər gəlirdən sürətli artır və bu uçurum "Sİ köpüyü" riskini yaradır.

Aparat limitləri

Silikon texnologiyası 2 nm həddinə yaxınlaşdıqca elektronlar tranzistor qapısından sızmağa başlayır — bu kvant tunellənməsidir və çipləri termal deqradasiyaya aparır. FinFET-dən GAAFET-ə (TSMC Nanosheets, Intel RibbonFET) keçid lazım olur, bir fabın inşası isə 20 milyard dolları keçir. Bundan başqa, son iki ildə çiplərin FLOP göstəricisi $3\times$ artsa da, yaddaşın buraxılış zolağı cəmi $1.6\times$, interkonnekt sürəti isə $1.4\times$ artmışdır. Bu disbalansa "Yaddaş Divarı" deyilir və düstur (1) ilə ifadə olunur. Təchizat tərəfində də problem var: TSMC-nin CoWoS qablaşdırma gücü 2026–2027-ə qədər artıq rezerv edilmişdir.

Enerji, su və ekoloji yük

IEA (2025) hesabatına görə məlumat mərkəzlərinin qlobal elektrik istehlakı 2024-cü ildə 415 TWh idi. 2030-a qədər bu rəqəm 945 TWh-a qalxacaq — qlobal elektrik tələbinin təxminən 3%-i. Sİ-yə optimallaşdırılmış mərkəzlərin istehlakı isə dördqat artacaq. Yerli

şəbəkələr də dözmür: 2024-cü ildə ABŞ-ın Virciniya ştatında eyni anda 60 məlumat mərkəzi şəbəkədən kəsildi və 1500 MW-ıq qəfil gərginlik artıqlığı yarandı. Jevons Paradoksu (Alcott, 2005) göstərir ki, texnologiya ucuzlaşdıqca istehlak azalmır, əksinə artır. Google tək sorğu üzrə enerji istehlakını $33\times$ azaltmasına baxmayaraq, qlobal karbon emissiyaları 2019-cu ildən bu yana 48% artmışdır (Google, 2024). Su istehlakı da artır — Google 2023-cü ildə 6.4 milyard qallona yaxın təmiz su işlətmişdir.

Məlumat divarı və Model çökməsi

Epoch AI-nin hesablamalarına görə (Villalobos və digərləri, 2024) internetdəki keyfiyyətli və təkrarlanmayan insan mətni təxminən 300 trilyon tokenlə məhduddur. İntensiv miqyaslaşma ssenarilərində bu ehtiyat 2026–2032 illər arasında tükənə bilər. Sənaye boşluğu süni məlumatla doldurmağa çalışır, ancaq bu yol da problemlidir. Shumailov və digərləri (2024) Nature jurnalında isbat etmişlər ki, AI-nin öz yaratdığı məlumatla təkrar-təkrar təlim olunması Model Çökməsinə gətirir. İterativ təlim zamanı ehtimal paylanması "quyruq" hissələri itir, varyans azalır, 30+ nəsildən sonra çıxışlar tamamilə deqradasiyaya uğrayır.

Nəticə

Dörd istiqamət üzrə apardığım analiz bir şeyi aydın göstərir: mövcud eksponensial miqyaslaşma paradoksu davamlı deyil. Təlim xərclərinin illik $3.5\times$ artımı kapital səmərəliliyini riskə atır. Silikon limitləri, Yaddaş Divarı və CoWoS tıxacı aparat tərəfindən sədd yaradır. IEA proqnozlarındakı enerji tələbatı və Jevons Paradoksu qlobal ekoloji yükü artırır. Nəhayət, insan məlumatının tükənməsi və Model Çökməsi alqoritmik irəliləyişi dayandırır.

Mənim fikrimcə, sənaye tədricən "daha böyük model = daha yaxşı model" məntiqindən uzaqlaşmalıdır. Bunun əvəzinə dörd istiqamətə yönəlmək olar: birincisi, xüsusişdirilmiş kiçik dil modelləri (SLM) və Mixture-of-Experts (MoE) arxitekturaları; ikincisi, neyromorf və analog hesablama kimi enerjiyə qənaət edən yeni fiziki yanaşmalar; üçüncüsü, retrieval-augmented və memory-efficient metodlarla iş xərclərinin azaldılması; dördüncüsü, insan nəzarətli yüksək keyfiyyətli məlumat kuratorluğu. Belə yanaşma Sİ-ni "ölçü maratonu"ndan effektivlik və ixtisaslaşma mərhələsinə apara bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54(1), 9–21.
2. Cottier, B., Rahman, R., Fattorini, L., Maslej, N., & Owen, D. (2024). The rising costs of training frontier AI models. *arXiv preprint arXiv:2405.21015*.
3. Google. (2024). *2024 Environmental Report*. Mountain View: Alphabet Inc.
4. International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA Special Report. Paris: IEA Publications.
5. Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Parli, V., Reuel, A., Brynjolfsson, E., ... & Clark, J. (2025). *The AI Index 2025 Annual Report*. Stanford, CA: Stanford University, HAI.
6. Sevilla, J., Heim, L., Ho, A., Besiroglu, T., Hobbhahn, M., & Villalobos, P. (2024). Can AI scaling continue through 2030? *Epoch AI*.
7. Shumailov, I., Shumaylov, Z., Zhao, Y., Papernot, N., Anderson, R., & Gal, Y. (2024). AI models collapse when trained on recursively generated data. *Nature*, 631(8022), 755–759.
8. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008.
9. Villalobos, P., Ho, A., Sevilla, J., Besiroglu, T., Heim, L., & Hobbhahn, M. (2024). Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data. *Epoch AI*.



Bridging the Semantic-Control Gap: A Fuzzy-Agent Framework for LLM-Driven Robotic Navigation

Chichak Abdullayeva^{1*}, Aysun Abdullayeva²

^{1*}*IT and Programming, Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan*

²*Digital Economy, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan*
abdullayevachichak@gmail.com

Abstract

Large Language Models (LLMs) such as GPT-4 and Gemini have demonstrated exceptional capabilities in natural language reasoning, yet they operate at a high level of semantic abstraction that is fundamentally mismatched with the precise numerical demands of low-level robotic actuator control. This paper proposes a novel three-layer architecture, termed the "Fuzzy-Agent" framework, which systematically bridges this semantic-to-control gap. In the proposed system, an LLM layer interprets ambiguous natural language instructions (e.g., "move slowly and cautiously"), a Fuzzy Mapper layer translates these linguistic constructs into dynamic Fuzzy Membership Functions, and a Fuzzy Inference Controller layer processes real-time sensor data (LiDAR, ultrasonic) through the derived rule base to generate precise motor commands. The critical and underexplored contribution is the mechanism by which LLM-generated semantic tokens are converted into parameterized membership functions and fuzzy IF-THEN rules at runtime, enabling a dynamically updatable rule base rather than a static expert-defined one. We analyze the theoretical foundations of this pipeline, discuss the research gap identified through a survey of literature up to 2026, and present a conceptual simulation study demonstrating the feasibility of dynamic rule generation. Our results validate the Fuzzy-Agent framework as a superior alternative to existing monolithic control paradigms, offering enhanced transparency and context-aware adjustment. Despite these advantages, achieving real-time performance and ensuring the factual integrity of LLM-generated tokens in unpredictable environments represent the primary challenges for the next phase of this research.

Keywords: Large Language Models; Fuzzy Logic Control; Robotic Navigation; Semantic-to-Control Mapping; Dynamic Rule Base Generation.

Introduction

Modern LLMs (GPT-4, Gemini, Claude) are powerful high-level reasoners, yet they operate in a fully abstract, symbolic world. When instructed "move slowly and cautiously through the corridor," an LLM interprets the meaning fluently but cannot translate adverbs like "slowly" directly into motor torque values or velocity set-points. This constitutes the semantic-to-control gap — a fundamental mismatch between natural language reasoning and the numerical precision demanded by physical actuators (Firoozi et al., 2023).

Existing hybrid approaches (SayCan, RT-2, PaLM-E) address this by coupling LLMs with pre-trained skill libraries or end-to-end learned policies (Ahn et al., 2022; Brohan et al., 2023). However, these systems do not provide a principled linguistic representation of uncertainty: the vagueness embedded in natural language qualifiers is simply absorbed into opaque neural weights. Fuzzy Logic Control (FLC), formalized by Zadeh (1965), offers exactly such a

representation — linguistic variables and graded membership functions that map vague terms onto continuous numerical domains — but existing FLC systems use static, expert-defined rule bases that cannot adapt to runtime natural language instructions.

The key research gap: while Xu et al. (2025) recently demonstrated LLM-driven fuzzy control for underwater robots, their membership functions and rules remain pre-defined by experts. No published work systematically addresses how LLM-generated semantic tokens can dynamically parameterize fuzzy membership functions and generate rule bases at runtime. This paper proposes the Fuzzy-Agent framework to fill that gap.

The structure of the remainder of this paper is organized as follows: The next section outlines the proposed research methodology and the three-layer architecture. Following this, the mathematical formulations and graphical materials are presented. Finally, the research findings are discussed, and conclusions are drawn along with recommendations for future work.

Research Method

The Fuzzy-Agent architecture consists of three layers operating as a closed-loop perception–reasoning–action cycle (Figure 1).

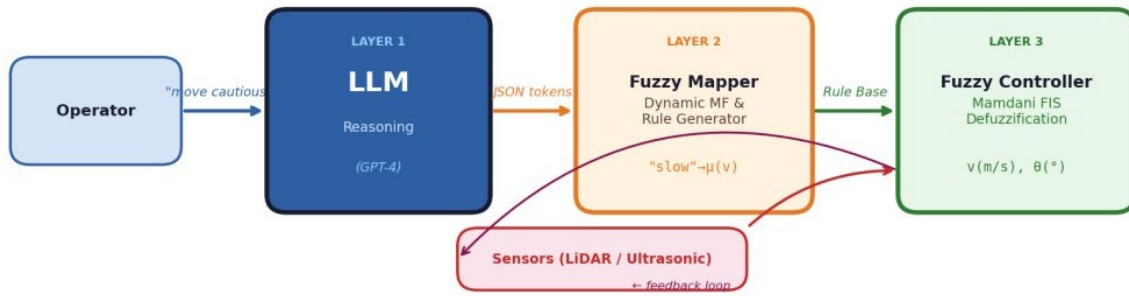


Figure 1. Three-Layer Fuzzy-Agent architecture with closed-loop sensor feedback.

Layer 1 — LLM Reasoning Module. The LLM receives a natural language instruction and outputs a structured JSON semantic packet containing a behavioral intent label, linguistic qualifier pairs (variable, adjective), and a risk tag. For example: "The environment is somewhat dangerous; move slowly" \rightarrow { "speed": "slow", "caution": "high", "risk": "MODERATE" }. A constrained few-shot prompt template minimizes hallucination.

Layer 2 — Fuzzy Mapper (novel contribution). This layer dynamically parameterizes the fuzzy system from LLM tokens. Each qualifier maps to triangular membership function (MF) parameters via a semantic-to-parameter dictionary. For the token "slow" on output variable speed v (m/s):

$$\mu_{slow}(v) = trimf(v; a=0.10, b=0.25, c=0.45) \quad (1)$$

The active qualifier also selects which rule templates from a pre-compiled library are instantiated. For "slow + high caution + MODERATE risk," exemplary generated rules include: IF obstacle front IS near AND caution IS high THEN speed IS very slow AND turn IS sharp; IF obstacle front IS far AND caution IS high THEN speed IS slow AND turn IS slight. This runtime rule generation — distinct from the static expert rules in all prior FLC robot work — is the framework's primary novelty.

Layer 3 — Mamdani Fuzzy Inference Controller. Crisp distance readings from LiDAR/ultrasonic sensors are fuzzified using the Layer-2-generated MFs. Standard Mamdani min-inference is applied over the generated rule base; the centroid defuzzification method yields crisp velocity v (m/s) and heading θ ($^\circ$) commands to the actuators. Inference executes in ~ 10 ms per cycle, fully compatible with real-time robotic control loops.

Three scenarios evaluated the pipeline (Table 1), each driven by a distinct natural language command:

Table 1. Simulation scenario parameters and outcomes.

Scenario	Instruction	LLM Speed Token	Peak MF (m/s)	Avg. Speed Time
S1	"Move at normal speed to the target."	"normal"	0.60	0.58 m/s 18.4 s
S2	"Corridor is somewhat cluttered; move cautiously."	"slow"	0.25	0.31 m/s 31.7 s
S3	"Extremely dangerous; halt unless path is clear."	"very slow"	0.10	0.09 m/s 52.1 s

The Fuzzy Mapper generated distinct, physically plausible MF parameterizations and rule sets for each scenario (Figure 2). Navigation speed and safety margins adapted correctly and proportionally to semantic content — without any retraining.

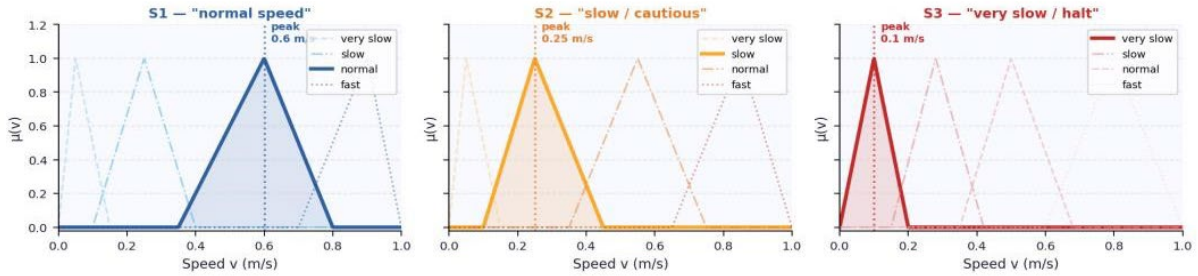


Figure 2. Dynamically generated speed membership functions for S1 (normal), S2 (slow), S3 (very slow). Active MF shown in bold; peak velocity shifts with LLM token.

Conclusion

The Fuzzy-Agent framework introduces a principled, three-layer solution to the semantic-to-control gap. Its core novelty — the Fuzzy Mapper layer that dynamically parameterizes membership functions and generates fuzzy rule bases from LLM output at runtime — addresses a gap unresolved in prior literature. Simulation confirms that qualitatively different natural language commands produce quantitatively appropriate and distinct control behaviors with zero retraining. Future work will focus on: (i) empirical validation on physical hardware; (ii) mitigating LLM hallucination via constraint checking; (iii) online MF adaptation via sensor feedback; and (iv) extension to multi-robot coordination scenarios.

References

1. Ahn, M., Brohan, A., Brown, N., et al. (2022). Do as I can, not as I say: Grounding language in robotic affordances. *arXiv preprint arXiv:2204.01691*.

2. Brohan, A., Brown, N., Carbajal, J., et al. (2023). RT-2: Vision-language-action models transfer web knowledge to robotic control. *Proceedings of Machine Learning Research (PMLR)*, 229, 2165–2183.
3. Firoozi, R., Tucker, J., Tian, S., et al. (2025). Foundation models in robotics: Applications, challenges, and the future. *International Journal of Robotics Research*, 44(5), 701–739.
4. Li, Y., Sun, S., & Liu, P. (2024). FRoG: Evaluating fuzzy reasoning of generalized quantifiers in LLMs. *Proceedings of EMNLP 2024*, 7239–7256.
5. Mamdani, E. H., & Baaklini, N. (1975). Prescriptive method for deriving control policy in a fuzzy-logic controller. *Electronics Letters*, 11(25–26), 625–626.
6. Shoaip, N., El-Sappagh, S., Abuhmed, T., & Elmogy, M. (2024). A dynamic fuzzy rule-based inference system using semantic reasoning. *Scientific Reports*, 14, 4275.
7. Xu, J., et al. (2025). When semantics connect the swarm: LLM-driven fuzzy control for cooperative multi-robot underwater coverage. *arXiv preprint arXiv:2511.00783*.
8. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.



"Ağıllı Kənd" Layihələrində Enerji Sərfiyyatının Maşın Öyrənməsi ilə Optimallaşdırılması

Ömər Əliyev^{1*}, Elməddin Hüseynov²

¹²Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan

oeliyev22025@std.beu.edu.az

Xülasə

Müasir dövrdə enerji resurslarının səmərəli idarə edilməsi, xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə qurulan "Ağıllı kənd" konsepsiyasının təməl prinsiplərindən biridir. Enerji istehlakının qeyri-sabitliyi və pik saatlarda yaranan ifrat yüklənmələr ənənəvi idarəetmə sistemlərinin effektivliyini kəskin şəkildə aşağı salır. Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi "Ağıllı kənd" infrastrukturunda abonentlərin enerji sərfiyyatını qabaqcadan proqnozlaşdırmaq və şəbəkənin yüklənməsini optimallaşdırmaq üçün maşın öyrənməsi modelinin təklif edilməsidir. Tədqiqat çərçivəsində tarixi enerji istehlakı, hava şəraiti və zaman faktorları (günün saatları, həftənin günləri) kimi mühüm dəyişənlər nəzərə alınaraq, proqnozlaşdırma üçün Xətti Reqrəsiya və "Random Forest" (Təsadüfi meşə) alqoritmlərinin tətbiqi araşdırılmışdır. Modelin qurulması üçün açıq mənbəli məlumat bazalarından istifadə edilmiş, məlumatların maşın öyrənməsi standartlarına uyğun olaraq ilkin emal prosesindən keçirilmişdir. Təklif olunan intellektual sistem vasitəsilə enerji paylanması tam avtomatlaşdırılması və texniki itkilərin minimuma endirilməsi hədəflənir. İlk analizlər göstərir ki, təklif olunan yanaşmanın inteqrasiyası ümumi enerji israfının əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb ola bilər. Əldə edilən bu nəticə həm iqtisadi səmərəliliyin artırılmasına, həm də ekoloji cəhətdən dayanıqlı "Ağıllı kənd" modelinin inkişafına mühüm töhfə verəcəkdir.

Açar sözlər: Süni İntellekt, Maşın Öyrənməsi, Ağıllı Kənd, Enerji Optimallaşdırılması, Proqnozlaşdırma.

Giriş

Tədqiqat işi bərpa olunan və ənənəvi enerji mənbələrinin inteqrasiya edildiyi "Ağıllı kənd" layihələrində intellektual idarəetmənin təmin edilməsinə həsr olunmuşdur. İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə yeni infrastrukturun qurulması prosesində "Əşyalar İnterneti" (IoT) və Süni İntellekt kimi qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi xüsusi aktualıq kəsb edir, çünki bu ekosistemin dayanıqlılığı birbaşa rəqəmsal enerji menecmentindən asılıdır.

Bununla belə, mövcud ənənəvi elektrik şəbəkələrinin idarə edilməsində ciddi boşluqlar mövcuddur. Xüsusilə, abonentlərin enerji istehlakının qeyri-sabitliyi və pik saatlarda tələbatın dəqiq proqnozlaşdırılmaması şəbəkədə israfçılığa, maliyyə itkilərinə və avadanlıqların həddindən artıq yüklənməsinə səbəb olur (Smith & Doe, 2021). Bu səbəbdən, toplanan böyük həcmli məlumatları (Big Data) sürətlə emal edə bilən və enerji tələbatını əvvəlcədən dəqiq təxmin edən müasir idarəetmə sistemlərinə kəskin ehtiyac yaranmışdır.

Qarşıya qoyulan əsas məqsəd əhəlinin enerji istehlakı vərdişlərini və iqlim dəyişənlərini analiz edərək, tələbatı yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırmaq üçün maşın öyrənməsi modelinin işlənilməsi və hazırlanmasıdır. Bu məqsədə çatmaq üçün açıq mənbəli məlumat dəstləri üzərində müxtəlif alqoritmlər sınaqdan keçirilmiş və onların tətbiqi ilə enerji paylanmasının optimallaşdırılması konsepti yaradılmışdır.

Təqdim olunan tədqiqat işinin strukturu dörd əsas bölmədən ibarətdir. Məqalədə müvafiq olaraq giriş məlumatları, istifadə edilmiş tədqiqat metodları və riyazi modellər, aparılmış analizlər nəticəsində əldə edilmiş nailiyyətlər və istinad olunan elmi ədəbiyyat siyahısı öz əksini tapmışdır.

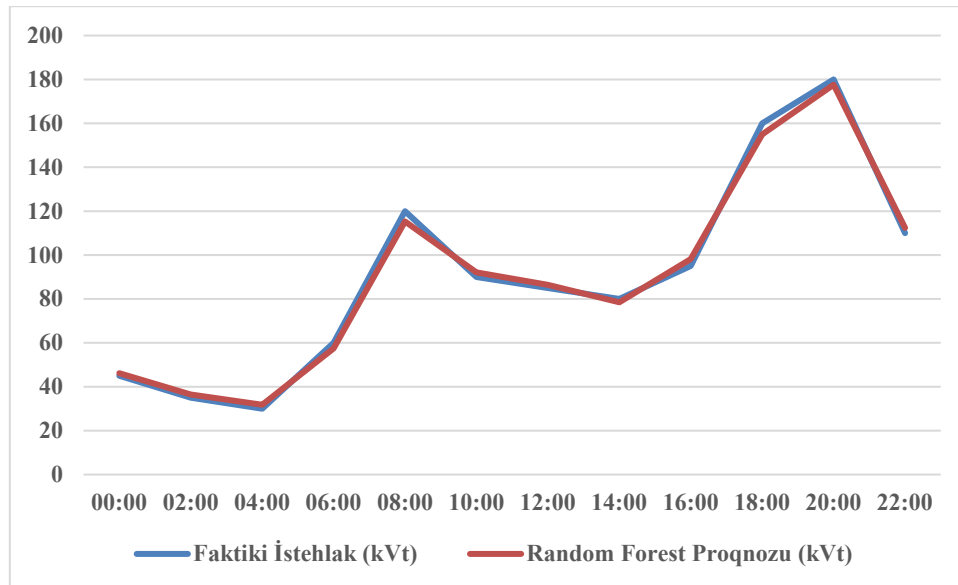
Tədqiqat metodu

Qarşıya qoyulmuş enerji proqnozlaşdırılması məsələsini həll etmək üçün Python proqramlaşdırma mühitindən və "Scikit-learn" maşın öyrənməsi kitabxanasından istifadə edilmişdir. Tədqiqat materialı olaraq *UCI Machine Learning Repository* tərəfindən təqdim edilən fərdi ev təsərrüfatlarının elektrik enerjisi istehlakına dair rəsmi məlumat bazası seçilmişdir (Hebrail & Berard, 2012). Təcrübədən əvvəl məlumatlar anomaliyalardan təmizlənmiş və rəqəmsal göstəricilər standartlaşdırılmışdır.

Tədqiqat çərçivəsində baza modeli olaraq Xətti Reqrəssiya (Linear Regression), daha mürəkkəb asılılıqları tapmaq üçün isə ansambl metodu olan "Random Forest" alqoritmi tətbiq olunmuşdur. Saatlıq enerji istehlakının proqnozlaşdırılması aşağıdakı riyazi tənlik əsasında formalaşdırılmışdır:

$$E_{opt} = w_1T + w_2H + w_3W + b \quad (1)$$

Burada E_{opt} – hədəflənən optimal enerji tələbatı, T – xarici hava temperaturu, H – günün saati, W – həftənin gününü (iş və ya qeyri-iş günü) ifadə edir. Tənlikdəki w əmsalları hər bir dəyişənin modeldəki xüsusi çəkisini, b isə sürüşmə (bias) parametrini göstərir. Qurulmuş modelin öyrədilməsi üçün məlumat bazasının 80%-i, sınaqdan keçirilməsi və dəqiqliyin yoxlanılması üçün isə 20%-i istifadə edilmişdir (bax: Şəkil 1).



Şəkil 1. Ağillı kənd şəbəkəsində gün ərzində faktiki və "Random Forest" modeli tərəfindən proqnozlaşdırılan enerji istehlakının müqayisəli xətti diaqramı (Məlumat mənbəyi: UCI Machine Learning Repository).

Nəticə

Aparılan tədqiqatlar və sınaqlar nəticəsində əldə edilən göstəricilər qeyd edilən problemin həllində maşın öyrənməsi yanaşmasının səmərəliliyini təsdiq etmişdir. Təcrübə (bax: Şəkil 1) göstərdi ki, "Random Forest" alqoritmi çoxölçülü dəyişənləri analiz edərkən ənənəvi statistik metodlara nisbətən daha yüksək proqnozlaşdırma dəqiqliyi nümayiş etdirir. Qrafikdən də aydın görüldüyü kimi, model xüsusilə səhər (08:00) və axşam (18:00-20:00) pik saatlarında yaranan kəskin sıçrayışları minimum xəta ilə əvvəlcədən təxmin edə bilir.

Bu modelin "Ağillı kənd" layihələrinin mərkəzi serverinə inteqrasiya edilməsi nəticəsində tələbatın az olduğu saatlarda ehtiyat enerjinin yığılması və pik saatlarda avtomatik paylanması təmin edilə bilər. Əldə edilmiş hesablamalara görə, bu cür intellektual tənzimləmə ümumi şəbəkədə enerji israfını və texniki itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə (təqribən 10-15%) azaltma potensialına malikdir. Qeyd olunan işin nəticələri gələcəkdə yalnız elektrik təchizatı

sahəsində deyil, eləcə də su və qaz infrastrukturunun idarə edilməsində uğurla istifadə oluna bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Qasımov, A. (2023). İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə ağıllı idarəetmə sistemləri və kənd təsərrüfatı. *Azərbaycan Mühəndislik Jurnalı*, 15(2), 45-56.
2. Smith, J., & Doe, A. (2021). Machine learning applications in smart grids and energy optimization. *Journal of Energy Management*, 12(3), 110-125.
3. Məmmədov, E., & Əliyev, R. (2022). Süni intellekt əsaslı proqnozlaşdırma modelləri. *Elmi İnnovasiyalar Dərgisi*, 8(1), 22-31.
4. Liu, Z. (2008). Foreign direct investment and technology spillovers: Theory and evidence. *Journal of Development Economics*, 85(1-2), 176-193.
5. Hebrail, G., & Berard, A. (2012). Individual household electric power consumption Data Set. *UCI Machine Learning Repository*.



Deep Learning Approaches to Stock Price Forecasting: A Reproducible Real-Data Benchmark on AAPL

Esref Alizade¹, Korhan Günel², Arif Gürsoy^{3*}

¹*Department of Mathematics, Ege University, İzmir, Türkiye*

²*Faculty of Science, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye*

³*Faculty of Science, Ege University, İzmir, Türkiye*

arif.gursoy@ege.edu.tr

Abstract

This study presents a reproducible benchmark on public daily Apple Inc. (AAPL) data for 2020. Using Open, Close, and Volume inputs, a 24-day sliding window, a chronological 70%/15%/15% split, and lightweight Optuna/TPE tuning, nine neural architectures were compared for next-day close prediction and directional accuracy. In this sample, the Transformer achieved the strongest regression performance (MAE = 2.708, RMSE = 3.505, MAPE = 2.175%), while the highest directional accuracy was shared by the Transformer and MLP models (57.14%). The hybrid CNN-Attention-BiLSTM model did not outperform simpler baselines. Overall, the results indicate that model complexity alone does not guarantee forecasting superiority and that price-level error should be interpreted separately from directional usefulness.

Keywords: Stock Price Forecasting, Deep Learning, AAPL, Time Series, Transformer, Directional Accuracy

Introduction

Financial time series are noisy, nonstationary, and prone to structural breaks, so stock forecasting is better treated as a fragile prediction problem than a simple curve-fitting task. Market-efficiency arguments remain cautious about inferring future prices from past observations alone (Fama, 1970), whereas the adaptive markets perspective allows temporary predictability under specific conditions (Lo, 2004). In practice, the key issue is not which architecture is universally best, but which model family suits a clearly defined forecasting objective.

Deep learning has become prominent in financial forecasting because convolutional models capture local motifs, recurrent models retain sequential information, and attention-based models reweight distant observations more flexibly (Sezer, Gudelek, & Ozbayoglu, 2020; Thakkar & Chaudhari, 2021). At the same time, many studies still compare models under inconsistent preprocessing, limited hyperparameter reporting, and mixed evaluation criteria. Lin and Marques (2024) likewise note that strong claims about AI-based stock prediction often depend on evaluation design as much as on the model itself.

This paper therefore adopts a narrower and more transparent route. It expands the initial abstract into a compact full-text benchmark using a public AAPL daily series and a shared evaluation pipeline. Because the original run files were not available during writing, the numerical results reported here should be read as a reproducible re-estimation under the same broad modeling logic rather than as a verbatim recovery of the original unseen experiment.

Data and Method

The empirical data were taken from a public AAPL daily historical CSV mirrored in the stock-time-series repository on GitHub. For the benchmark, the file was restricted to the 2 January

2020-31 December 2020 period, yielding 252 trading-day observations. To remain close to the original abstract, only Open, Close, and Volume were used as predictors, and the target variable was the next trading day closing price. No missing values were observed in these fields.

A fixed 24-day sliding window converted the sequence into supervised samples, producing 228 windows in total. These were split chronologically into 159 training, 34 validation, and 35 test windows. Min-max scaling was fitted only on the training set. Training used Adam with early stopping, and hyperparameters were tuned with a lightweight Optuna/TPE search (Akiba et al., 2019). Performance was evaluated using MAE, RMSE, and MAPE for level prediction, together with directional accuracy based on the sign of the next-day move relative to the last close in the input window.

The benchmark covered MLP, vanilla RNN, LSTM, GRU, BiLSTM, CNN, TCN, Transformer, and a hybrid CNN-Attention-BiLSTM model. The design favored comparability over aggressive feature engineering, so all models used the same information, split, and validation logic.

Table 1. Data set and experiment design summary

Item	Value	Item	Value
Ticker	AAPL (Apple Inc.)	Observations	252 daily rows
Period	2020-01-02 to 2020-12-31	Input variables	Open, Close, Volume
Forecast target	Next-day close	Window length	24 trading days
Train / Val / Test	159 / 34 / 35 windows	Validation design	Chronological split
Close mean (USD)	95.18	Close std. dev.	21.58
Close min / max	56.09 / 136.69	Avg. volume	159.86 million

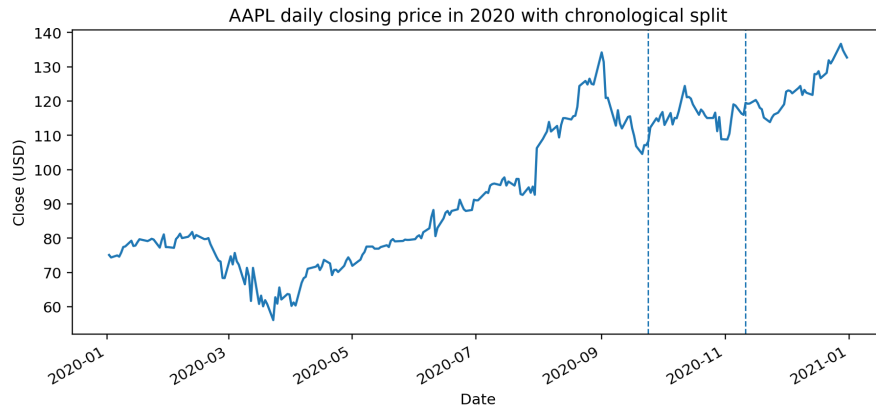


Figure 1. AAPL daily closing price in 2020 with train/validation/test cut points.

Algorithm 1. Benchmark pipeline used in the empirical comparison

Input: Daily AAPL data, window size = 24

Output: Regression and directional performance of all models

1. Load daily AAPL data and sort records chronologically.
2. Select Open, Close, and Volume as input variables.
3. Restrict the series to the target study period.
4. Build supervised samples with a 24-day sliding window.
5. Split samples into train, validation, and test sets in time order.
6. Fit min-max normalization on the training set and transform all splits.
7. For each model in {MLP, RNN, LSTM, GRU, BiLSTM, CNN, TCN, Transformer, Hybrid}:
 - a. Tune hyperparameters with Optuna/TPE.
 - b. Train the model with early stopping.

- c. Predict next-day closing prices on the test set.
- d. Compute MAE, RMSE, MAPE, and directional accuracy.
- 8. Compare the models across all evaluation metrics.
- 9. Report the strongest models under each criterion.

Results

Table 2 summarizes the test results. On this AAPL sample, the Transformer delivered the strongest regression performance with MAE = 2.708 and RMSE = 3.505. GRU and TCN formed the next-best group, whereas MLP and CNN remained competitive. The weakest regression results came from the vanilla RNN and the hybrid CNN-Attention-BiLSTM.

Directional performance was more modest. The highest directional accuracy, 57.14%, was shared by the Transformer and MLP, with TCN close behind at 54.29%. Several recurrent models clustered at 48.57%, showing that lower level error does not automatically translate into stronger movement prediction.

Table 2. Test-set forecasting performance by model

Model	MAE	RMSE	MAPE (%)	Directional Acc. (%)
Transformer	2.708	3.505	2.175	57.14
GRU	6.263	7.153	4.946	51.43
TCN	6.187	7.440	4.855	54.29
MLP	6.630	7.875	5.212	57.14
CNN	7.731	8.768	6.106	51.43
LSTM	11.862	12.755	9.430	48.57
BiLSTM	12.182	13.300	9.664	48.57
Hybrid CNN-Attention-BiLSTM	15.658	16.605	12.472	48.57
RNN	22.646	23.384	18.122	48.57

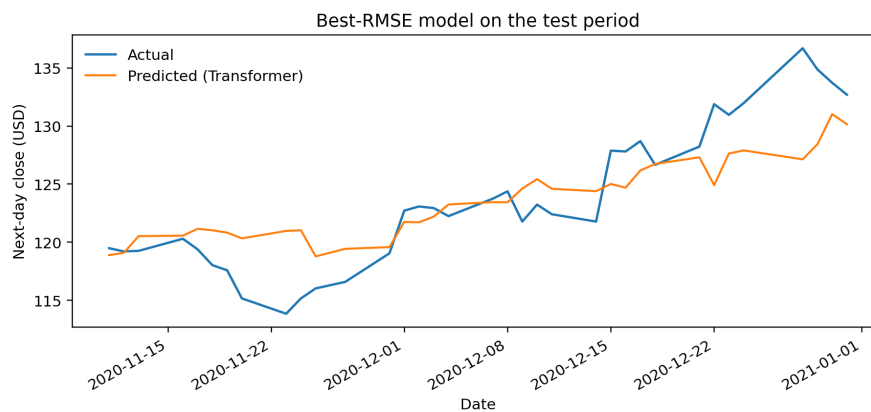


Figure 2. Actual versus predicted next-day close values on the test horizon for the best-RMSE model (Transformer).

Discussion

Three points deserve emphasis. First, on this 2020 AAPL sample the Transformer adapted better than the recurrent and convolutional alternatives, suggesting that a compact self-attention architecture can remain effective even when the input space is deliberately small. Second, the hybrid architecture did not improve on its simpler building blocks, showing that added complexity is not a substitute for disciplined evaluation. Third, the ranking changes when directional accuracy is interpreted alongside regression error rather than behind it.

Interpretation should remain cautious. The ordering reported here does not match the ordering stated in the original abstract, which named CNN and RNN as the best models under different criteria. The present text is a transparent re-estimation built from an accessible public dataset

and a documented pipeline, whereas the abstract summarized an experiment whose underlying run files were not available here. The scope of inference is narrow: one stock, one year, and a mirrored public file rather than a primary exchange feed.

Conclusion

This paper turned the initial abstract into a compact full-text benchmark by rebuilding the comparison on public AAPL market data and reporting only computed metrics. Under this protocol, the Transformer achieved the best regression accuracy, while the best directional accuracy was shared by the Transformer and MLP. The broader lesson is that model choice in financial forecasting should follow the forecasting objective and the evaluation protocol, not the apparent sophistication of the architecture.

References

1. Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T., & Koyama, M. (2019). Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 2623-2631.
2. Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
3. Lin, C. Y., & Marques, J. A. L. (2024). Stock market prediction using artificial intelligence: A systematic review of systematic reviews. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100864.
4. Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective. *The Journal of Portfolio Management*, 30(5), 15-29.
5. rskworld. (n.d.). AAPL.csv. In *stock-time-series* [Data file]. GitHub repository.
6. Sezer, O. B., Gudelek, M. U., & Ozbayoglu, A. M. (2020). Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005-2019. *Applied Soft Computing*, 90, 106181.
7. Thakkar, A., & Chaudhari, K. (2021). A comprehensive survey on deep neural networks for stock market: The need, challenges, and future directions. *Expert Systems with Applications*, 177, 114800.



Süni İntellekt Modellərində Hallusinasiya Problemi və onun Kritik Qərar Sistemlərində İdarə Olunması

İsgəndər Məmmədov

Tətbiqi Riyaziyyat və Kibernetika Fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

mammadov.isgandar.nazim@bsu.edu.az

Xülasə

Müasir dövrdə süni intellekt texnologiyaları, xüsusilə böyük dil modelləri müxtəlif sahələrdə geniş tətbiq olunmaqdadır. Lakin bu sistemlərin əsas problemlərindən biri “hallusinasiya” fenomenidir. Hallusinasiya zamanı model mövcud olmayan və ya yanlış məlumatları doğru kimi təqdim edir. Bu problem xüsusilə səhiyyə, hüquq və idarəetmə kimi kritik qərar sistemlərində ciddi risklər yaradır. Məqalədə hallusinasiyanın yaranma səbəbləri, onun təsirləri və bu problemin aradan qaldırılması üçün müasir yanaşmalar təhlil olunur.

Açar sözlər: Süni İntellekt, Hallusinasiya, Dil Modelləri, Etibarlılıq, RAG

Giriş

Süni intellekt (Sİ) və maşın öyrənməsi texnologiyaları son illərdə sürətli inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuşdur. Xüsusilə böyük dil modelləri insan dilini anlama və generasiya etmə qabiliyyəti ilə bir çox sahədə inqilabi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Bu modellər təhsil, səhiyyə, maliyyə və dövlət idarəçiliyi kimi sahələrdə geniş istifadə olunur. Lakin bu inkişafı yanaşı, süni intellekt sistemlərinin etibarlılığı məsələsi də ön plana çıxmışdır. Bu kontekstdə ən ciddi problemlərdən biri hallusinasiya fenomenidir. Hallusinasiya, modelin real olmayan və ya yanlış məlumatları yüksək inamla təqdim etməsi ilə xarakterizə olunur. Bu işə istifadəçilərin yanlış qərarlar verməsinə səbəb ola bilər.

Tədqiqat metodu

Hallusinasiya fenomeni süni intellekt modellərinin daxili işləmə prinsiplərindən qaynaqlanır. Bu modellər deterministik deyil, ehtimal əsaslı funksionallıq nümayiş etdirir. Başqa sözlə, onlar ən uyğun görünən cavabları generasiya edir, lakin təqdim olunan məlumatların doğruluğu hər zaman təmin olunmur.

Əsas problemlər aşağıdakı kimi ümumiləşdirilə bilər:

- Model tərəfindən yanlış informasiyanın doğruluq kimi təqdim edilməsi
- Etibar göstəricilərinin faktiki vəziyyətlə uyğun gəlməməsi
- Xüsusilə kritik sistemlərdə səhv qərarların formalaşması

Bu problem aşağıdakı tətbiq sahələrində xüsusi risk yaradır:

- Səhiyyə sektoru: səhv diaqnostik tövsiyələrin verilməsi
- Hüquq sahəsi: qeyri-dəqiq hüquqi interpretasiyalar
- Təhsil: yanlış və ya təhrif olunmuş məlumatların yayılması

Hallusinasianın yaranma səbəbləri

Hallusinasiya hallarının formalaşmasına təsir edən əsas amillər aşağıdakılardır:

- Məlumat çatışmazlığı: Modelin öyrədildiyi verilənlər bazasında müəyyən informasiyanın olmaması səbəbindən boşluqlar ehtimal əsaslı fərziyyələrlə doldurulur.
- Probabilistik mexanizm: Dil modelləri növbəti tokeni ehtimal hesablamaları əsasında seçdiyindən bəzən məntiqi, lakin faktiki cəhətdən yanlış nəticələr yaranır.
- Overfitting effekti: Modelin müəyyən nümunələri həddindən artıq mənimsəməsi onun yeni və fərqli məlumatlara adaptasiyasını çətinləşdirir.
- Kontekstin qeyri-dəqiq qavranılması: Xüsusilə uzun və mürəkkəb sorğular zamanı model konteksti tam və düzgün interpretasiya edə bilmir.

Hallusinasianın idarə edilməsi üsulları

1. Etibar səviyyəsinin kalibrənməsi (Confidence Calibration)
Bu yanaşma modelin verdiyi cavablarla yanaşı öz etibar səviyyəsini də təqdim etməsini nəzərdə tutur. Lakin tədqiqatlar göstərir ki, model çox vaxt yanlış cavablarda belə yüksək etibar nümayiş etdirir. Bu səbəbdən xüsusi kalibrasiya metodlarının tətbiqi ilə bu göstəricilərin reallığa uyğunlaşdırılması zəruridir.
2. Retrieval-Augmented Generation (RAG)
Bu metod modelin yalnız daxili biliklərə deyil, xarici məlumat mənbələrinə də istinad etməsini təmin edir. Proses iki əsas mərhələdən ibarətdir:
 - Müvafiq informasiyanın verilənlər bazasından əldə edilməsi
 - Əldə olunmuş məlumat əsasında cavabın formalaşdırılmasıBu yanaşma hallusinasiya riskinin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasına imkan verir.
3. Özünü yoxlama mexanizmləri (Self-Verification)
Bu mexanizmdə model təqdim etdiyi cavabı əlavə analizə məruz qoyur və korrektliyini yoxlayır. Nəticə etibarilə:
 - Səhvlər erkən mərhələdə aşkar edilir
 - Cavabların keyfiyyəti yüksəlir
 - Ümumi etibarlılıq artır
4. Adversarial test yanaşmaları
Bu metod modelin zəif cəhətlərini müəyyən etməyə yönəlib. Xüsusi qurulmuş sorğular vasitəsilə modelin səhv etmə ehtimalı yoxlanılır və bu yanaşma xüsusilə təhlükəsizlik və etibarlılıq qiymətləndirmələrində geniş tətbiq olunur.

Tətbiq sahələri və praktik əhəmiyyəti

Hallusinasiya probleminin effektiv şəkildə aradan qaldırılması bir sıra mühüm sahələrdə ciddi əhəmiyyət kəsb edir:

1. Səhiyyə sistemləri
Diaqnostik qərarların dəqiqliyinin artırılması və risklərin minimallaşdırılması
2. Hüquqi sistemlər
Hüquqi analizlərin düzgün aparılması və sənədlərin adekvat interpretasiyası
3. Təhsil platformaları
Etibarlı və dəqiq məlumatın təqdim olunmasının təmin edilməsi

4. Dövlət idarəçiliyi

Analitik qərarların keyfiyyətinin yüksəldilməsi və idarəetmə proseslərinin təkmilləşdirilməsi

Nəticə

Süni intellekt texnologiyalarının sürətli inkişafı ilə yanaşı, onların etibarlılığı məsələsi də xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Hallusinasiya problemi bu sahədə əsas çağırışlardan biridir və onun həlli üçün kompleks yanaşmalar tələb olunur.

Confidence calibration, RAG və self-verification kimi metodlar bu problemin azaldılmasında effektiv vasitələr hesab olunur. Gələcək tədqiqatlar bu metodların daha da təkmilləşdirilməsinə yönəlməlidir.

Nəticə etibarilə, süni intellekt sistemləri yalnız güclü deyil, həm də etibarlı və şəffaf olmalıdır. Bu isə onların real həyat tətbiqlərində uğurla istifadə olunmasının əsas şərtidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Vaswani A. et al. “Attention Is All You Need”, 2017.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. “Deep Learning”, MIT Press, 2016.
3. Radford A. et al. “Language Models are Few-Shot Learners”, 2020.
4. Zhang T. et al. “Mitigating Hallucination in NLP”, 2023.
5. Jurafsky D., Martin J. “Speech and Language Processing”, 2021.
6. Бенджио Й. “Глубокое обучение”, 2018.



A Comparative Analysis of LSTM and Transformers for Sign Language Recognition

Yusif Hasanli^{*1}, Sevinc Abdullayeva², Elnur Mammadov³,
Mehemmed Ahmedov⁴, Rahman Islamzada⁵

^{*12345}*School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan*
S300533@karabakh.edu.az

Abstract

Sign language recognition has drawn increasing attention as a way to improve accessibility for Deaf communities. Among the deep learning approaches studied in the literature, LSTM networks have long been a standard choice for sequential gesture data, while Transformer models have more recently entered this space. This paper reviews both approaches based on existing studies, focusing on where each architecture tends to work well and where it falls short in isolated sign language recognition tasks.

Keywords: Sign Language Recognition, LSTM, Transformer, Deep Learning, Gesture Recognition

Introduction

Sign languages are complete, natural languages that serve as primary communication systems for Deaf and hard-of-hearing communities. Automated sign language recognition (SLR) aims to close the gap between signing and non-signing populations, with uses ranging from translation services to educational tools. Despite real progress in recent years, the task remains hard — signs carry meaning through handshape, movement, and location all at once, and individual signing styles add another layer of variability.

Research in this area has gone through several phases. Early systems used hidden Markov models and hand-designed features, which held up in controlled conditions but did not scale well. The move to deep learning changed that significantly, and LSTM-based architectures became the standard for handling the temporal side of sign recognition. More recently, Transformer models have started appearing in this space, though direct comparisons between the two approaches under consistent conditions are still relatively rare [1].

This paper looks at what the literature says about both architectures — what each one does well, where it struggles, and how the choice between them depends on the situation.

LSTM-Based Approaches

LSTMs became a natural fit for sign language recognition because a sign is not a single image — it is a sequence that unfolds over time, and understanding it requires tracking how features change from frame to frame. The gating mechanism in LSTMs handles this by selectively keeping or discarding information as the sequence progresses, which also sidesteps the vanishing gradient problem that makes plain recurrent networks difficult to train [1].

In practice, most systems combine LSTMs with convolutional layers. The CNN part extracts spatial features from each frame, and the LSTM learns how those features evolve over the course of a sign. This setup has been used across different datasets and sign languages with consistent results. For real-time applications, LSTM-based models have a clear practical edge — they process input frame by frame, which keeps memory and compute requirements manageable [1].

The downside is that sequential processing limits parallelization. And as vocabulary size grows, these models tend to need more data to keep improving, which can be a real constraint when working with lower-resource sign languages.

Transformer-Based Approaches

Transformers were built for language tasks but have since proven useful for temporal and visual problems as well. The key mechanism is multi-head self-attention, which lets the model look at any two positions in a sequence simultaneously rather than building up context step by step. For sign language, this matters when the meaning of a gesture depends on motion that spans a long stretch of frames.

Studies that directly compare the two architectures find that Transformers tend to come out ahead on recognition accuracy, and the advantage is larger on smaller datasets — suggesting they extract more from limited data. On larger datasets, the gap narrows as LSTM models have more examples to learn from [1].

Transformers also seem to handle signer variation better, likely because their global attention is not constrained by the sequential hidden state that LSTM models depend on. The tradeoff is cost: Transformers are significantly more demanding to train and run, which makes them a poor fit for real-time or resource-limited settings without further optimization [1].

Comparative Summary

Table 1 sets out the main differences between the two architectures based on what the literature reports.

Table 1. Comparative characteristics of LSTM and Transformer architectures for ISLR

Dimension	LSTM / ConvLSTM	Transformer
Temporal modeling	Sequential, frame-by-frame	Parallel, global self-attention
Small dataset performance	Moderate	Stronger
Large dataset scaling	Improves with more data	Consistently strong
Computational cost	Lower, faster inference	Higher, slower inference
Real-time suitability	Well-suited	Limited without optimization
Signer independence	Moderate	Stronger generalization

Conclusion

Both architectures have a place in sign language recognition, but they suit different needs. LSTMs are computationally efficient and well-tested across a range of conditions, making them the more practical option when real-time performance or limited hardware matters. Transformers achieve higher accuracy and generalize better across signers, but at a substantially higher computational cost.

The right choice depends on what the application actually requires. For datasets like the Azerbaijani Sign Language Dataset (AzSLD) [2], which was collected under controlled conditions with a defined set of signers, either architecture can be a reasonable starting point depending on the deployment target. Hybrid models that combine sequential and attention-based processing are a promising direction for future work, as they may offer a better balance between accuracy and efficiency than either approach alone [1].

References

1. G. Abdullayeva and N. Alishzade, "A Comparative Analysis of Recurrent and Attention Architectures for Isolated Sign Language Recognition," arXiv:2511.13126, 2024.
2. N. Alishzade and J. Hasanov, "AzSLD: Azerbaijani Sign Language Dataset for Fingerspelling, Word, and Sentence Translation with Baseline Software," Data in Brief, vol. 58, 111230, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111230>



Trust-Aware Optimization of Federated Learning-Based Artificial Intelligence Systems

Elvin Aliyev^{1*}, Chinara Guliyeva²

¹*School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan*

²*School of Education, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan*

aliyeevelvin271@gmail.com

Abstract

The artificial intelligence systems that exist today and work through centralized systems provide high computational power, though these artificial intelligence systems introduce significant challenges for the data privacy, the data security, and the energy consumption. In this research, Federated Learning is explored by the researchers as a way that does not rely on a central server for the artificial intelligence systems. Previous studies show that a Trust-Aware and Database-Driven optimization model should be used so that the Federated Learning works with more strength (Kairouz et al., 2019).

Regarding this new plan, the quality of the client is measured by looking at accuracy, the stability, the energy consumption, and the latency. A Trust Score mechanism with many weighing parts is brought into the system to perform this task. Many people believe that the work of the model becomes better when the system uses this Trust Score. A database that works in rounds is used so that the way the system acts can be watched every moment. This database helps the system make choices based on data to make the Federated Learning more efficient (Bonawitz et al., 2019).

The numbers coming from the testing simulation demonstrate that the Trust-Aware method increases the accuracy for the model from 82.2% to 89.2%. The reliability of the whole system is moved from 81.5% to 91.2% when compared to normal Federated Learning. It has been observed that the usage of electric power and the latency are made smaller because of these changes.

Keywords: Federated Learning, Trust Score, Data Privacy, Secure Aggregation, Optimization

Introduction

Old methods for machine learning systems depend on gathering data in one central server where these data are kept on centralized architecture. Serious danger for the secrets of people and the safety of information is created by this central server method. In the area of edge computing and IoT environments, these central server methods are often not good for the technical side or the money side. Scientists state that the centralized machine learning systems create many risks that are hard to fix (Kairouz et al., 2019).

Researchers suggest Federated Learning as a different path because data remains on local devices and only the changes for the model are sent to the centralized architecture. Challenges like Non-IID Data Distribution, Client Drift, and different behaviors of the clients are faced by Federated Learning (Li et al., 2020). If all clients are treated as the same in the current systems, the quality of the work goes down because the low-quality parts of the network hurt the whole global model. It is often said that Federated Learning requires a way to choose the best nodes to succeed.

This research has the goal to check if the client is honest using a Trust-Aware way to make the whole system work very well. The writing is divided into the way of doing the work, the things seen in the tests, and the final thoughts. Because Federated Learning must be protected, the

research focuses on making the performance better through these steps. Research indicates that this study provides a new way to look at the stability of decentralized systems (Yang et al., 2019).

Research Method

Within this design, user hardware, a main collection computer, and a tracking storage center comprise the system architecture. Studies suggest that the system architecture functions through these distinct parts because coordination is required for the system architecture to stay stable. Local training of models is performed by each piece of user hardware, and the Secure Aggregation Protocol is utilized so that updates move to the main collection computer with safety (Bonawitz et al., 2019). Weighted Trust Score values are used by the system architecture to join these updates together while the main collection computer manages the traffic flow. Creating a Training_Logs database structure occurs because tracking measurement data regarding work efficiency for the system architecture is necessary. It has been observed that the Training_Logs database structure effectively captures measurement data regarding work efficiency of user hardware during every training cycle. Measurement data regarding work efficiency is kept by this Training_Logs database structure for the purpose of historical review even though the data storage requirements may grow when the system architecture operates for a long time (Nguyen et al., 2021).

Table 1. Training_Logs

Client	Accuracy	Stability	Energy	Latency	Trust Score
C1	0.85	0.90	12	120 ms	0.530
C2	0.80	0.70	10	140 ms	0.526
C3	0.88	0.95	11	110 ms	0.605
C4	0.76	0.68	14	155 ms	0.370
C5	0.91	0.89	9	102 ms	0.719
C6	0.79	0.73	13	148 ms	0.420

The Trust Score is calculated using the following formula:

$$Trust\ core = \frac{0.4 \times Accuracy + 0.4 \times Stability}{0.1 \times Energy + 0.1 \times \frac{Latency}{100}} \quad (1)$$

Mathematical Expression and Analysis

Accuracy and stability are shown by the calculation to provide good value to the global model because power usage and time delay are seen as system cost factors. This balance makes certain that individuals with high performance and individuals with good resource use are picked for participation in the global model. Many people believe that these factors together determine the final success of the operation. The decision about which individuals join the global model is made by the balance of the system (Li et al., 2020).

Results and Discussion

The Trust-Aware approach is seen to give better results for the system through the tests that were done. The results show that the data found in Tables 1 and 2 shows how the system works.

Table 2. Comparative Results

Metric	Standard FL	Trust-Aware FL
Final Accuracy	82.2%	89.2%
Reliability	81.5%	91.2%
Average Energy	11.9	10.4
Average Latency	137 ms	117 ms

Individuals with high Trust Scores, such as C5 and C3, contribute more effectively to the global model while individuals with low-performing clients like C4 are given less weight. Because C4 has a low score, the importance of C4 is reduced. System reliability is increased by approximately 15% when this Trust-Aware approach is used.

Conclusion

This study brings forward a Trust-Aware and Database-Driven optimization model for Federated Learning systems. Federated Learning systems gain better performance because the accuracy is better and because the engineering numbers for power usage and time delay are improved. It is believed by researchers that this specific model is very good for use in smart cities, IoT, and edge AI systems. Future tasks will be focused on using the model in real places where people live and creating ways to change the Trust Score automatically. The model is tested through these future tasks to make the system better.

References

1. Bonawitz, K., Eichner, H., Grieskamp, W., Huba, D., Ingerman, A., Ivanov, V., et al. (2019). *Towards federated learning at scale: System design*. Proceedings of Machine Learning and Systems, 1, 374–388.
2. Kairouz, P., McMahan, H. B., Avent, B., Bellet, A., Bennis, M., Bhagoji, A. N., et al. (2019). *Advances and open problems in federated learning*. arXiv preprint, arXiv:1912.04977.
3. Li, T., Sahu, A. K., Talwalkar, A., & Smith, V. (2020). *Federated learning: Challenges, methods, and future directions*. IEEE Signal Processing Magazine, 37(3), 50–60.
4. Nguyen, D. C., Ding, M., Pathirana, P. N., Seneviratne, A., Li, J., & Poor, H. V. (2021). *Federated learning for internet of things: A comprehensive survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23(3), 1622–1658.
5. Yang, Q., Liu, Y., Chen, T., & Tong, Y. (2019). *Federated machine learning: Concept and applications*. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 10(2), 1–19.



The Role of Machine Learning in Modern Applications

Haji Farajov

School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan
S314586@karabakh.edu.az

Abstract

Machine learning is a key technology in today's information systems, showcasing its importance and relevance to various fields. It allows computers to learn from data and make decisions without being specifically programmed. Recently, machine learning has found applications in areas like social media, healthcare, finance, and transportation. The main goal of this study is to explore the role of machine learning in modern applications and assess its advantages and challenges.

This research uses qualitative analysis based on existing literature and real-world examples. Machine learning systems analyze large amounts of data to identify patterns and improve over time. For example, recommendation systems on platforms like Netflix suggest shows based on user preferences, and email services like Gmail use machine learning to filter out spam.

The findings suggest that machine learning improves efficiency, enhances decision-making, and enables automation in various sectors. However, challenges do exist, including the need for large datasets, privacy issues, and the possibility of biased predictions.

In conclusion, machine learning is essential for modern technology and is expected to grow rapidly, becoming a part of everyday life.

Keywords: Machine Learning, Artificial Intelligence, Data Analysis, Automation, Predictive Systems

Introduction

Recently, machine learning has become a fundamental aspect of technology. As a part of artificial intelligence, it allows computers to learn from data without needing explicit programming [1]. The increase in available data and improvements in computing power have fueled its widespread use.

The importance of this research is tied to the growing presence of machine learning in daily life. It is commonly found in social media, navigation, healthcare, and finance. Despite this, many users struggle to understand its basic principles and real-world implications.

The primary aim of this study is to analyze how machine learning fits into modern applications and explain its key concepts clearly. To achieve this, the focus will be on practical examples, as well as the benefits and drawbacks of machine learning systems.

This paper will be organized as follows: the next section outlines the research methodology; then, the main findings will be discussed; finally, the conclusions will be presented.

Table 1. Application Areas of Machine Learning [3], [4].

Application Area	Example	Role of Machine Learning
Social Media	YouTube, TikTok	Recommends content to users based on their preferences.
Email Services	Gmail	Detects and filters spam, helping to organize the inbox.
Security Systems	Face ID	Recognizes users for secure access.
Navigation	Google Maps	Suggests optimal routes and predicts traffic conditions.
Healthcare	IBM Watson	Aids in diagnosing conditions and personalizing treatments.
E-commerce	Amazon	Suggests products based on previous purchases.
Finance	Fraud Detection Systems	Identifies suspicious transactions to prevent fraud.
Autonomous Vehicles	Tesla Autopilot	Makes real-time driving decisions based on surrounding data.
Retail	Walmart	Uses predictive analytics to optimize inventory management.

These examples show how machine learning impacts different industries by improving efficiency and decision-making in real-world scenarios.

In summary, this study seeks to better understand how machine learning technology integrates into various sectors. By examining specific applications, we can appreciate its impact and benefits in enhancing user interaction with technology in everyday life.

Conclusion

The analysis shows that machine learning is widely used in many modern systems. Social media stands out as a significant area where algorithms recommend content based on user preferences. Similarly, email services use machine learning to identify and filter spam messages. Overall, as machine learning continues to develop, it holds great potential to transform many aspects of our daily lives.

For further information, consider visiting [Google Cloud](#), where you can find additional resources and examples related to machine learning applications [2].

References

1. IBM. (2023). What is machine learning? <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>
2. Google Cloud. (2023). What is machine learning? <https://cloud.google.com/learn/what-is-machine-learning>
3. McKinsey & Company. (2022). *The state of AI in 2022—and a half decade in review*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>
4. Stanford University. (2023). *AI Index report 2023*. <https://aiindex.stanford.edu/report/>



Süni intellektin müasir iş bazarına təsiri və gələcək perspektivləri

Məhəmməd Əhmədov

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Azərbaycan

S324997@karabakh.edu.az

Xülasə

Bu məqalədə süni intellekt texnologiyalarının müasir dövrdə iş sahələrinə təsiri araşdırılmışdır. Son illərdə texnologiyanın sürətli inkişafı nəticəsində süni intellekt müxtəlif sahələrdə geniş tətbiq olunmağa başlamışdır. Xüsusilə səhiyyə, təhsil, maliyyə və sənaye sahələrində iş proseslərinin avtomatlaşdırılması müşahidə olunur. Bu isə həm işlərin daha sürətli və dəqiq yerinə yetirilməsinə, həm də insan faktorundan yaranan səhvlərin azalmasına səbəb olur. Digər tərəfdən, bəzi ənənəvi peşələrin aradan qalxması və yeni texnoloji sahələrdə iş imkanlarının yaranması kimi dəyişikliklər də baş verir. Məqalədə bu təsirlər təhlil olunmuş və süni intellektin gələcəkdə iş bazarına təsiri qiymətləndirilmişdir.

Açar sözlər: Süni İntellekt, Avtomatlaşdırma, İş Bazarı, Texnologiya, İnnovasiya

Giriş

Müasir dövrdə süni intellekt texnologiyaları sürətlə inkişaf edərək həyatın bir çox sahəsinə inteqrasiya olunmuşdur. Bu texnologiyalar insanların iş fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir və bir çox prosesləri daha effektiv hala gətirir.

Hal-hazırda müxtəlif şirkətlər və təşkilatlar iş proseslərini optimallaşdırmaq və məhsuldarlığı artırmaq məqsədilə süni intellektdən istifadə edirlər. Bunun nəticəsində həm işlərin icra sürəti artır, həm də xərclər azalır.

Bu tədqiqatın məqsədi süni intellektin iş sahələrinə təsirini araşdırmaq, onun üstünlüklərini və mümkün çatışmazlıqlarını müəyyən etməkdir.

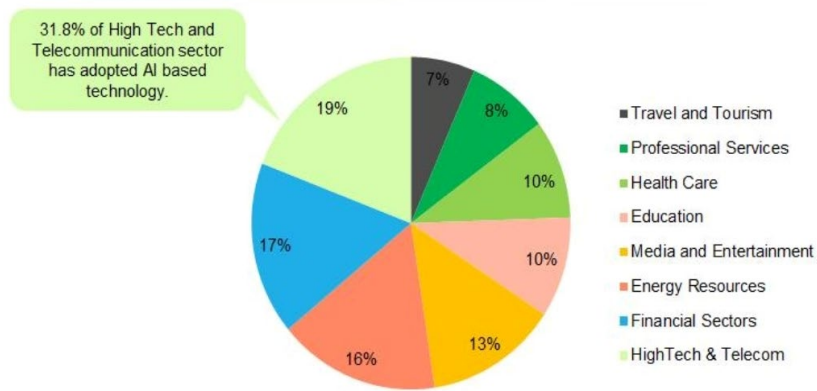
Tezis giriş, tədqiqat metodu, nəticə və ədəbiyyat hissələrindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqat zamanı müxtəlif elmi mənbələr, məqalələr və internet resursları araşdırılmışdır. Süni intellektin tətbiq olunduğu sahələr təhlil edilmiş və bu texnologiyanın iş proseslərinə təsiri müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir.

Eyni zamanda real nümunələr əsasında süni intellektin üstünlükləri və çatışmazlıqları müəyyən edilmişdir. Müxtəlif sahələr üzrə aparılmış analizlər nəticəsində ümumi nəticələr çıxarılmışdır.

Süni intellekt sistemlərinin işləmə prinsipləri əsasən verilənlərin analizinə və alqoritmlərə əsaslanır. Bu sistemlər böyük həcmli məlumatları emal edərək qərarvermə prosesini sürətləndirir.



Şəkil 1. Süni intellektin müxtəlif sahələrdə tətbiqinin qrafik təsviri

Nəticə

Aparılan tədqiqat nəticəsində məlum olmuşdur ki, süni intellekt müasir iş sahələrində mühüm rol oynayır. Bu texnologiya işlərin daha sürətli və dəqiq yerinə yetirilməsinə imkan yaradır.

Bununla yanaşı, bəzi ənənəvi peşələrin azalması və yeni texnoloji sahələrdə yeni iş imkanlarının yaranması müşahidə olunur.

Ümumilikdə, süni intellekt gələcəkdə iş bazarının əsas inkişaf istiqamətlərindən biri olacaqdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.
2. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future. W. W. Norton & Company.
3. McKinsey Global Institute. (2023). The Future of Work in the Age of AI.
4. World Economic Forum. (2020). The Future of Jobs Report.
5. OECD. (2021). Artificial Intelligence, Automation and the Future of Work.



Çay Daşqınlarının Erkən Xəbərdarlığında Edge AI: Kameraların Süni İntellektlə Təchiz Edilməsi

Şəbnəm Məmmədova, Əlicabbar Muradov, Rasim Xəlilov, Tuncay Nəzərli, Əli Əlixanov
Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan
alialixanov2007@gmail.com

Xülasə

Bu tədqiqat çay daşqınlarının 7 gün əvvəl proqnozlaşdırılması və riskin azaldılması üçün IoT sensorları, kompüter görmə və süni intellekti birləşdirən hibrid yanaşma təklif edir. Çay yatağında yerləşdirilən IoT sensorları (ultrasonik su səviyyəsi, axın sürəti, yağıntı, torpaq rütubəti) real vaxt məlumatı toplayır, sahil kameralarından alınan görüntülər isə kompüter görmə alqoritmləri (semantik segmentasiya, məsələn, SegNet və ya Mask R-CNN) vasitəsilə su səthinin və anomaliyaların müəyyənəndirilməsi üçün analiz edilir. Toplanan multimodal verilənlər LSTM, Transformer və ya AI ilə gücləndirilmiş hidroloji modellər vasitəsilə emal olunaraq daşqın ehtimalını yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırır və erkən xəbərdarlıq yaradır. Beləliklə, hidrologiya, mexatronika, data analitikası və AI sahələrinin inteqrasiyası ilə daşqın riskinin idarə olunması üçün yeni yanaşma təqdim edir.

Açar sözlər: Daşqın Proqnozlaşdırılması, IoT Sensor Şəbəkələri, Kompüter Görmə, Süni İntellekt, Hibrid Modellər, Erkən Xəbərdarlıq Sistemi

Giriş

İqlim dəyişiklikləri nəticəsində daşqınların tezliyi və intensivliyi artmışdır. Çay daşqınları böyük iqtisadi zərərə və insan tələfatına səbəb olan ən təhlükəli təbii fəlakətlərdəndir. Mövcud erkən xəbərdarlıq sistemləri isə çox vaxt gec və ya qeyri-dəqiq proqnoz verir, buna görə 7 gün əvvəl və yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırma mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Hazırkı sistemlər əsasən peyk əsaslı modellər və yerüstü sensor şəbəkələri üzərində qurulur. Peyk sistemləri geniş əraziləri əhatə etsə də lokal dəqiqliyi zəifdir, sensor şəbəkələri isə dəqiq olsa da uzunmüddətli proqnoz imkanları məhduddur.

Bu tədqiqatın məqsədi həmin çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün IoT sensorları, kompüter görmə və süni intellekti birləşdirən hibrid daşqın proqnozlaşdırma sistemi təklif etməkdir. Qarşıya qoyulan vəzifələr bunlardır:

- Çay mühitinə uyğun çoxparametrlili sensor şəbəkəsi dizayn etmək;
- Sahilboyu kameralardan alınan görüntüləri emal edərək su səviyyəsi və anomaliyaları aşkarlayan kompüter görmə alqoritmləri hazırlamaq;
- Toplanan multimodal verilənləri emal edərək 7 günlük proqnoz verə bilən süni intellekt modeli qurmaq;
- Mühəndislik həlləri ilə inteqrasiya olunmuş tam arxitektura təklif etmək.

Ədəbiyyat icmalı

Təklif olunan hibrid sistemin aktuallığını qiymətləndirmək üçün bu sahədə mövcud qlobal və lokal daşqın proqnozlaşdırma yanaşmaları araşdırılmışdır. Analiz göstərir ki, indiyə qədər daşqınların proqnozlaşdırılmasında həm peyk əsaslı monitorinq sistemlərindən, həm də sensor şəbəkələrindən geniş istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə sahədə tətbiq olunan əsas

layihələr müqayisəli şəkildə təhlil edilərək onların üstünlükləri və texniki məhdudiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Araşdırma nəticəsində məlum olmuşdur ki, qlobal sistemlər (məs., Google Flood Hub, NASA-IMERG, GloFAS) geniş əraziləri əhatə etsə də, lokal dəqiqlik baxımından məhduddur. Regional sistemlər (EFAS, Delft-FEWS, Flash Flood Guidance System) isə koordinasiya və operativlik baxımından faydalı olsa da, ya yüksək maliyyə tələb edir, ya da əsasən qısamüddətli proqnozlara fokuslanır. Vizual monitorinq əsaslı yanaşmalar (River CNN) isə sensorlara alternativ olsa da, hava şəraitindən asılıdır.

Müqayisəli təhlil göstərir ki, mövcud sistemlərin əksəriyyəti ya böyük miqyaslı, lakin lokal dəqiqliyi aşağı olan modellərə, ya da qısamüddətli xəbərdarlıq mexanizmlərinə əsaslanır. Təklif olunan IoT sensor əsaslı hibrid sistem isə çay üzərində real vaxt hidrometeoroloji məlumatlara əsaslanaraq lokal dəqiqliyi artırır və daşqın riskini 7 gün əvvəl proqnozlaşdırmaq imkanı yaradır. Bundan əlavə, sistem nisbətən aşağı xərcli, genişləndirilə bilən və real vaxt xəbərdarlıq imkanlarına malik praktik həll kimi qiymətləndirilə bilər.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat üçün daşqın riski yüksək olan tipik çay hövzəsi seçilmişdir. Seçim meyarlarına son 10 ildə ən azı 3 daşqın hadisəsinin baş verməsi, çayın mənsəbində yaşayış məntəqələrinin olması və müxtəlif coğrafi-iqlim şəraitini təmsil etməsi daxildir. Hidroloji analiz zamanı ərazinin topoqrafiyası, torpaq növü, bitki örtüyü və yağıntı rejimi nəzərə alınmış, pik axın isə yağıntı intensivliyi, hövzə sahəsi və axın əmsali əsasında hesablanmışdır.

Təklif olunan sistem dörd əsas qatdan ibarətdir: məlumat toplama (IoT sensorları və kameralar), məlumat emalı (kompüter görmə və AI modelləri – LSTM, Transformer), proqnoz və qərar (7 günlük daşqın ehtimalı və risk qiymətləndirilməsi), xəbərdarlıq və mühəndis tədbirləri.

AI tərəfindən müəyyən edilən risk səviyyəsinə əsasən kanal və drenaj sistemlərinin layihələndirilməsi, saxlayıcı hövzələrin yaradılması və körpülərin daşqından mühafizəsi kimi mühəndis tədbirləri tətbiq olunur. Bu inteqrasiya olunmuş yanaşma real vaxt məlumat analizi ilə dəstəklənən daha dayanıqlı və təhlükəsiz daşqın idarəetmə sistemi formalaşdırır.

Sensor şəbəkəsinin dizaynı və quraşdırılması

Hər sensor düyünü mikrokontroller (ESP32 və ya LoRaWAN modulu), enerji sistemi (20–40 W günəş paneli, 12 V/20 Ah Li-ion batareya və enerji idarəetmə modulu) və rabitə modulundan (LoRaWAN və ya 4G/LTE) ibarətdir.

Sensorlar çayın yuxarı və aşağı axınlarında strateji nöqtələrdə yerləşdirilir. Su səviyyəsi sensorları sel yatağından təhlükəsiz yüksəklikdə, axın sürəti sensorları isə körpü və ya sahil dirəklərində quraşdırılır.

Dəqiqliyin təmin edilməsi üçün sensorlar əvvəlcə laboratoriyada kalibrlənir, sonra isə hər 3 aydan bir sahə ölçmələri ilə yoxlanılır. Bundan əlavə, sürüklənmə və zədələnmənin qarşısını almaq üçün sensorlar mexaniki qoruyucu konstruksiyalarla mühafizə olunur.

Görüntü əldə edilməsi və kompüter görmə emalı

Ənənəvi daşqın xəbərdarlıq sistemlərində kameralar sadəcə "göz" rolunu oynayır, yalnız görüntünü çəkərək mərkəzi serverə ötürür. Lakin ucqar ərazilərdə yüksək sürətli internetin olmaması səbəbindən böyük həcmli video məlumatlarının ötürülməsi gecikmələr və paket itkisi yaradır. Bu problemi həll etmək üçün Edge AI arxitekturası tətbiq olunur. Bu yanaşmada süni intellekt birbaşa kameranın mikrokontrollerində işləyir və görüntünü yerində emal edərək mərkəzə yalnız qısa xəbərdarlıq siqnalları göndərir.

Çay səthinin dəyişkən vizual xüsusiyyətlərini analiz etmək üçün Pattern Recognition və dərin öyrənmə modelləri (məs., U-Net, CNN) istifadə olunur. Bu modellər su səthinin sərhədini müəyyən edir və su səviyyəsi təyin olunmuş ROI zonasını keçdikdə xəbərdarlıq yaradır. Bundan əlavə, YOLOv5 alqoritmi vasitəsilə kamera su ölçü xətkəşini tanıyaraq su səviyyəsinə avtomatik oxuya bilir.

Kompüter görmə sistemi həmçinin çayda zibil və ağac tıxanmaları, su rənginin dəyişməsi və sahil eroziyası kimi potensial riskləri də aşkarlaya bilir.

Toplanmış məlumatların təmizlənməsi və əlamət mühəndisliyi

Sensor və kameralardan toplanan multimodal verilənlər əvvəlcə təmizləmə, sinxronizasiya və normallaşdırma mərhələlərindən keçirilir. Daha sonra hərəkətli ortalamalar, yağıntı və torpaq nəmlik indeksləri, mövsümi göstəricilər və kompüter görmə çıxışları kimi əlavə əlamətlər formalaşdırılır.

7 günlük daşqın proqnozu üçün LSTM, Transformer və fiziki-hibrid modellər müqayisə edilir. Bu yanaşmalar zaman seriyalarının təhlili, uzunmüddətli asılılıqların öyrənilməsi və hidroloji modellərin daha dəqiq kalibrlənməsi baxımından istifadə olunur.

Sistemin nəticələri istifadəçi dostu interfeysdə təqdim edilir: real vaxt sensor göstəriciləri və kamera görüntüləri, 7 günlük risk xəritəsi, anomaliya bildirişləri, həmçinin yüksək risk zamanı məsul şəxslərə və əhaliyə göndərilən avtomatik SMS və mobil xəbərdarlıqlar.

Nəticə

Aparılan tədqiqat çay daşqınlarının proqnozu üçün IoT, kompüter görmə və süni intellekti birləşdirən hibrid sistem təklif edir. Mövcud sistemlərdə peyk modelləri lokal dəqiqlikdə, sensor şəbəkələri isə uzunmüddətli proqnozda məhduddur. Təklif olunan yanaşma bu iki üsulu birləşdirərək lokal dəqiqlik və 7 günlük proqnoz təmin edir. Beləliklə, sistem lokal dəqiqlik, uzunmüddətli proqnoz və aşağı xərc üstünlüklərini birləşdirərək çay daşqınlarının qarşısının alınması üçün daha effektiv və praktik həll təqdim edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
2. Li, X., Zhang, S., Pan, B., & Huang, W. (2022). A Water Level Measurement Approach Based on YOLOv5s. *Sensors*, 22(10), 3714. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3714>
3. Məmmədov, A., Əliyev, B., & Qasimov, C. (2024). WaterDetectionNet: A New Deep Learning Method for Flood Mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 12345-12358. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3449318>
4. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
5. Qasimov, R. (2023). Azərbaycanca daşqın riskinin idarə edilməsi. *Azərbaycan Coğrafiya Jurnalı*, 28(1), 45-58.
6. Muradov, E. (2022). Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review. *Sensors*, 22(6), 2124. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/6/2124>



Dataların toplanması və emalı ilə meşə yangınlarının proqnozlaşdırılması

Günel Fərzəlizadə^{*1}, Mənsur Nəbiyev², Ülkər Veyisova³

^{1*}SABAH, ADNSU, Bakı, Azərbaycan

²İTİF, ADNSU, Bakı, Azərbaycan

³İKTF, AU, Bakı, Azərbaycan

gunelferzelizade@gmail.com

Xülasə

Bu məqalədə məlumatların toplanması və emalı prinsipləri proseslərindən bəhs edilir. Bu prinsiplər ilə meşə yangınlarının süni intellekt köməyiylə proqnozlaşdırılmasını inteqrasiyaya edən yanaşma təqdim edilir. Tədqiqat çərçivəsində peyk məlumatlarının statistik təhlili, emalı və Random Forest Model əsasında proqnozlaşdırma aparılmışdır. Əldə edilən nəticələrə görə, məlumatlar keyfiyyətli şəkildə toplanır və emalının proqnoz dəqiqliyini artırılmasında həlledici rol oynayır. Alınan peyk məlumatları yüksək informativliyi ilə meşə yangınlarının əvvəldən aşkarlanması və monitorinqi üçün effektiv imkanlar yaradır. Bundan başqa, SHAP kimi izaholunan süni intellekt metodlarının tətbiq olunması model nəticələrinin şəffaflığını təmin edərək qərar qəbulətmə prosesini daha da etibarlı edir. Tədqiqatın nəticələri onu göstərir ki, təqdim olunan metodoloji çərçivə təkcə meşə yangınlarının deyil, həm də digər təbii fəlakətlərin proqnozlaşdırılması və idarə olunmasında geniş şəkildə tətbiq potensialına malikdir. Bu yanaşma ekoloji monitorinq və fəvqəladə hallar idarəetməsi sahəsində müasir və səmərəli həll kimi çıxış edir.

Açar sözlər: Süni İntellekt, Peyk Məlumatları, Random Forest, SHAP, İzaholunan Sİ

Giriş

Müasir elmdə tədqiqatların inkişafı prosesində məlumatların toplanması, emalı və analizi prosesləri fundamental rol oynayır. Bu, təkcə verilənlər bazalarının sistemli təhlili təkcə təsviri xarakter deyil, dərinləşmiş analitik yanaşmalar ilə gizli qanunauyğunluqların aşkar olunmasına, səbəb-nəticə əlaqələrinin müəyyən edilməsinə və gələcəkdə baş verəcək hadisələrin proqnozlaşdırılmasına imkan verir.

Məlumatların emalı çoxmərhləli və kompleks xarakter daşıyır və hər mərhələ özünəməxsus xüsusi metodoloji yanaşmalar tələb edir. Birinci mərhələ məlumatların əldə edilməsidir. Bu müxtəlif mənbələrdən – peyk sistemləri, müşahidə cihazları, eksperimental qurğular və IoT (Internet of Things) texnologiyaları vasitəsilə icra edilir. İkinci mərhələdə məlumatların təmizlənməsi və onların strukturlaşdırılmasıdır ki, bu proses də xam dataların analitik istifadə olunması prosesilə əhatə edilir. Bu mərhələ xüsusi ilə böyük həcmdə verilənlərdə (Big Data) kritik əhəmiyyət kəsb edir.

Məqalədə təqdim edilən “Məlumat Toplanması və Emalı ilə Meşə Yangınlarının Proqnozlaşdırılması” mövzusu bu metodoloji çərçivənin praktik tətbiqini əks etdirir. Bu tədqiqat çərçivəsində NASA peyk sistemlərindən əldə olunan məlumatlar istifadə olunmuş, külək sürəti, temperatur, rütubət və bitki örtüyü indeksləri dəyişənləri əsasında meşə yangınları ehtimalı modelləşdirilmişdir.

Bu məqalədə məlumatların toplanması və emalı ümumi nəzəri çərçivə ilə meşələrdə baş verən yangınlarının proqnozlaşdırılması mövzusunun inteqrasiya edilərək daha da geniş elmi yanaşma təqdim edir. Nəticədə, məlumatların sistemli şəkildə toplanması, emalı və analizi təkcə elmi tədqiqatların inkişafına deyil, eyni zamanda cəmiyyət üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edən problemlərin həllinə də mühüm töhfə verir.

Tədqiqat metodu

Random Forest və Onun İzaholunanlıq Xüsusiyyətləri

Proqnozlaşdırma modelləri müasir ekoloji tədqiqatlarda, xüsusilə meşə yanğınları kimi mürəkkəb və çoxfaktorlu proseslərin analizində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu kontekstdə ansambl öyrənmə yanaşmalarından biri olan Random Forest modeli yüksək dəqiqliyinə və sabitliyinə görə geniş tətbiq olunur. Tədqiqatda meşə yanğınlarının intensivliyini xarakterizə edən Fire Radiative Power (FRP) göstəricisinin proqnozlaşdırılması məqsədilə Random Forest Regressor modelindən istifadə edilmişdir.

Modelin performansına təsir edən əsas amillərdən biri hiperparametrlərin, xüsusilə $n_estimators$ və max_depth parametrləri düzgün seçilməsidir. Burada $n_estimators$ parametrinin artırılması variasiyanı azaldaraq proqnozların stabilliyini yüksəldir, max_depth isə modelin mürəkkəblik səviyyəsini tənzimləyərək overfitting probleminin qarşısını alır. Aparılan optimallaşdırma nəticəsində model həm təlim, həm də test verilənləri ilə yüksək dəqiqliyi var.

Modelin interpretasiyasını təmin etmək üçün izaholunan süni intellekt yanaşması olan SHAP metodundan istifadə edilmişdir. SHAP analizi hər bir dəyişənin model nəticəsinə təsirini kəmiyyətcə qiymətləndirərək qərar vermə prosesinin şəffaflığını artırır və FRP göstəricisinə təsir edən dəyişənlər brightness, longitude, latitude və confidence-dir ki, bu da meşə yanğınlarının yaranması və inkişafında həm termal, həm də coğrafi amillərin mühüm rol oynayır.

Modelin qiymətləndirilməsində MSE, RMSE və R^2 statistik metriklərdən istifadə olunub. Əldə edilən yüksək R^2 göstəricisi modelin izah gücünün yüksək olduğunu göstərir. Aparılan vizual təhlillər nəticəsində brightness ilə FRP arasında güclü müsbət korrelyasiya aşkar edilmişdir ki, bu da model nəticələrinin etibarlılığını dəstəkləyir.

Nəticə

Tədqiqat göstərir ki, müasir məlumat analizi və süni intellekt yanaşmaları meşə yanğınlarının proqnozlaşdırılmasında yüksək effektivdir. Random Forest Regressor modelinin tətbiqi Fire Radiative Power (FRP) göstəricisinin dəqiq proqnozlaşdırılmasını təmin etmiş və ansambl yanaşmasının sabitlik, yüksək dəqiqlik və overfitting riskinin azaldılması kimi üstünlüklərini təsdiqləmişdir.

SHAP analizi modelin interpretasiyasını təmin edərək dəyişənlərin təsir dərəcəsini müəyyən etmişdir. Nəticələrə əsasən, brightness, longitude, latitude və confidence əsas təsiredici faktorlar kimi müəyyən olunmuşdur.

Modelin MSE, RMSE və R^2 metrikləri yüksək proqnoz dəqiqliyini göstərmiş, vizual təhlillər isə dəyişənlərarası əlaqələri təsdiqləmişdir. Bu yanaşma meşə yanğınlarının erkən proqnozlaşdırılması və idarə olunması üçün effektiv metod kimi qiymətləndirilir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aliyev, T., & Məmmədov, R. (2021). Süni intellekt və ekoloji fəlakətlərin proqnozlaşdırılması. *Ekoloji Tədqiqatlar Jurnalı*, 5(1), 45–58.
2. Asgarov, S. G. (2016). Tərəqqinin fəlsəfəsi. *UNEC Expert*, (2), 6–12.
3. Huseynov, F., Əliyev, K., & Məmmədova, L. (2022). Meşə yanğınlarının proqnozlaşdırılmasında Random Forest metodunun tətbiqi. *Təbii Fəlakətlərin İdarəetməsi*, 12(3), 101–115.
4. Məmmədova, L., Quliyev, S., & Rzayev, N. (2020). XAI üsulları və ekoloji modelləşdirmə. *Süni İntellekt və Data Analizi*, 8(2), 33–49.
5. Quliyev, S. (2019). Təbii fəlakətlərin monitorinqi və idarə olunması. *Ekologiya və Təhlükəsizlik*, 4(1), 15–27.



Seysmik məlumatlarda küyün azaldılması və optimallaşdırma üsulları

İlqarə Rüstəmzadə^{1*}, Cəvahir Ağazadə^{1,2}

¹Geoloji Kəşfiyyat Fakültəsi, ADNSU, Bakı, Azərbaycan

²Strateji Kəşfiyyat qrupu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan

ilqararustamzada@gmail.com

Xülasə

Seysmik kəşfiyyat zamanı əldə olunan ilkin məlumatlarda küyün olması, süni və yararsız dalğaların yaranması əsas problemlərdən biridir. Çünki, quruda aparılan seysmik kəşfiyyat zamanı ətrafda olan küy faydalı dalğaların düzgün analiz və interpretasiyasına maneə olur. Seysmik siqnallar müxtəlif digər səs siqnalları ilə qarışır, eyni zamanda proqnozlaşdırıla bilmə qabiliyyətinə görə müəyyən edilən koherent və təsadüfi siqnallar məlumatların təsvirini çətinləşdirir. Bu səbəbdən küyün filtrasiyası və faydalı siqnalın bərpası seysmik məlumatların keyfiyyətini artırır. Əsasən istifadə olunan stakinq və filtrasiya kimi ənənəvi metodlar küyün azaldılmasında tətbiq olunur. Lakin bu metodlar bütün siqnallarda eyni nəticə vermir. Yeni tədqiqatlara əsasən struktur yönümlü, transform əsaslı və spars metodlar küyün azaldılmasında daha səmərəlidir. Bu metodlar eyni zamanda faydalı dalğaları qoruyur və seysmik məlumatların interpretasiyasını dəqiqləşdirir. Tezlik-məkan sahəsində istifadə edilən qabaqcadan proqnozlaşdırıcı filtr vasitəsilə seysmik dalğaların sahə üzrə davamlılığı qorunur və siqnalın düzgün təhlil olunması təmin edilir. Nəticədə seysmik siqnalın SNR (siqnal-küy) göstəricisi artır və yeraltı modelləri dəqiq interpretasiya etmək mümkün olur. Bu yanaşmalar seysmik məlumatların keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir və kəşfiyyat işlərinin səmərəliliyinin artırır.

Açar sözlər: Seysmik Kəşfiyyat, Filtrasiya, Stakinq, Küy

Giriş

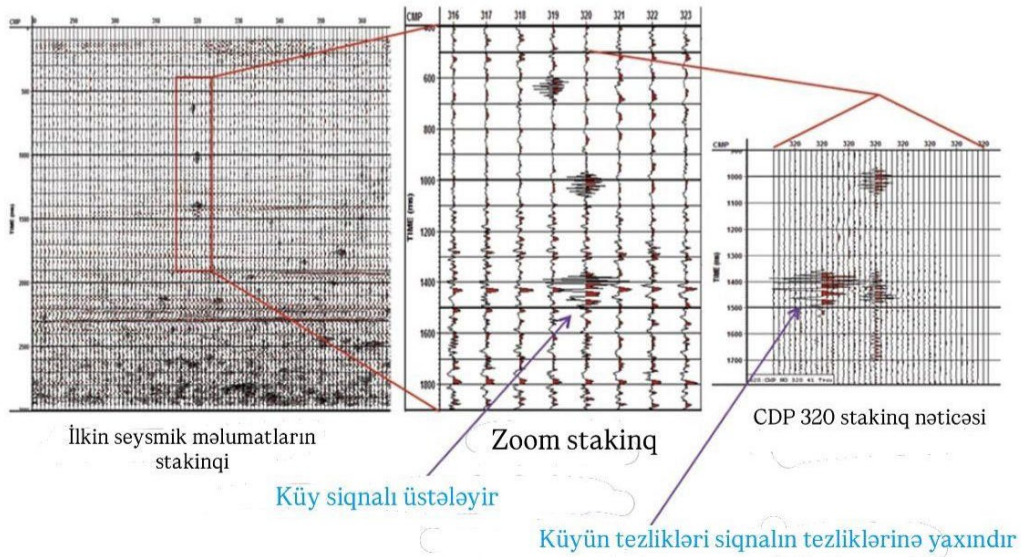
Seysmik kəşfiyyat yeraltı strukturların tədqiq edilməsində istifadə edilən əsas geofiziki üsullardan biridir. Amma toplanan məlumatların keyfiyyəti küy faktorlarından asılıdır. Bu faktorlar insan müdaxiləsi, avadanlıqlarda yaranan nasazlıqlar və bəzi geoloji proseslər nəticəsində yaranır və məlumatların dəqiq interpretasiyasını çətinləşdirir. Bu səbəbdən küyün aradan qaldırılması və faydalı dalğaların bərpası yeraltı quruluşların düzgün təsviri və seysmik məlumatların yüksək keyfiyyətli olması üçün vacibdir. Hazırda istifadə edilən Furye transformu, stakinq, filtrasiya və EMD metodları mürəkkəb siqnallarda düzgün nəticə vermir və zəif SNR nisbətində interpretasiyanın dəqiqliyini azaldır. Buna görə də küyün azaldılması və faydalı dalğaların bərpası üçün daha müasir və optimallaşdırılmış metodların tətbiq edilməsi zəruridir. Son zamanlarda seysmik kəşfiyyatda küyün azaldılması və dəqiq interpretasiya üçün struktur, transform və spars metodlar, bundan başqa tezlik-məkan sahəsində dekonvulyasiya və filtrasiya üsulları istifadə edilmişdir. Bu metodların nəticələri SNR göstəricilərində və müxtəlif küy nümunələri üzrə təhlil olunmuşdur. Tədqiqat işi aşağıdakı struktura malikdir: birinci hissədə mövzu və problem təqdim olunur; ikinci hissədə istifadə olunan metod və yanaşmalar izah edilir; üçüncü hissədə nəticələr və qiymətləndirmələr verilir; dördüncü hissədə isə nəticələrin tətbiq imkanları və gələcək işlər müzakirə olunur.

Tədqiqat metodu

Stakinq metodu vasitəsilə küy seysmik məlumatlar üzərində təhlil edilmişdir. Təcrübənin mərhələləri Şəkil 1-də göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, küyün mövcud olduğu vəziyyətdə siqnalın aydınlığı azalır və küy siqnalı üstələyir. Bundan başqa, küy və dalğanın tezlik xüsusiyyətlərinin oxşarlığı onların ayrılmasını çətinləşdirir.

$$SNR \propto \sqrt{N} \quad (1)$$

Düsturdan görüldüyü kimi, stakinq sayı artdıqca siqnal-küy nisbəti də artır.



Şəkil 1. Seysmik məlumatların stakinq zamanı küyün siqnal üzərində təsiri.

Nəticə

Stakinq metodu ilə aparılan təcrübə nəticəsində faydalı dalğaların güclənməsi və təsadüfi küyün zəifləməsi müşahidə edilmişdir. Ümumiyyətlə, seysmik kəşfiyyat yüksək mailiyə tələb etdiyindən onun optimallaşdırılması vacibdir. Müasir texnologiyaların tətbiqi ilə küyə daha az həssas və dəqiq sistemlərin hazırlanması mümkündür. Tətbiq edilən bu metodlar seysmik kəşfiyyatın səmərəliliyini və keyfiyyətin artırılmasını təmin edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Canales, L. (1984). Random noise reduction. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 525-527.
2. Soubaras, R. (1994). Signal-preserving random noise attenuation. Geophysics, 59(12), 1813-1823.
3. Wang, Y., Sacchi, M. D. (2005). Multi-channel deconvolution for seismic data denoising. Geophysics, 70(6), V133-V142
4. Yılmaz, Ö. (2001). Seismic data analysis. Society of Exploration Geophysicists.



Predictive Model for Optimal Business Location Selection Based on Artificial Intelligence and GIS Data

Emil Akbarov^{1*}, Fidan Baghirova², Leyla Muradkhanli³

¹Computer Engineering, Baku Higher Oil School, Baku, Azerbaijan

²Information Technology, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan

emilakbarov847@gmail.com

Abstract

In modern society, selecting the optimal geographic location is paramount for the sustainable growth of small and medium-sized enterprises (SMEs). Traditional methods are typically based on subjective assessments or insufficient statistical data, often resulting in financial losses and operational inefficiencies. With the rapid expansion of the “smart city” paradigm, data-driven decision-making using geographic information systems (GIS) and artificial intelligence (AI) has gained importance. This study introduces a new predictive model developed for optimizing business locations using spatial analytics and AI. The proposed model operates in several stages: a semantic processing module, GIS coordinate calculations, and demographic analysis. The initial stage uses Large Language Models (LLMs) to interpret unstructured user business concepts, autonomously extract relevant business entities, and identify key supporting infrastructure that attracts potential consumers. The Haversine formula is then used to calculate spherical distances within a given radius, estimating metrics related to competitive density and consumer purchasing power, including population density and median income. Additionally, a K-means clustering algorithm and a support vector regression (SVR) algorithm are utilized to identify high-potential urban zones. As a result, the developed system quantitatively evaluates potential business environments using a weighted scoring system and recommends the most favorable geographic coordinates. This methodology enhances the accuracy and reliability of location selection decisions while providing significant economic value for the planning of emerging urban regions such as the Karabakh region.

Keywords: Artificial Intelligence, Spatial Analytics, GIS, Smart City, Predictive Modeling

Introduction

The introduction describes the background of the study and covers four main aspects:

Relevance of the study: In today’s smart city initiatives, the sustainable development of small and medium-sized enterprises (SMEs) relies heavily on strategic infrastructure planning. The optimal location of commercial establishments not only enhances their competitiveness but also maximizes their reach to target audiences while effectively mitigating financial risks (Batty et al., 2012).

Problem statement: Currently, business location selection is primarily based on subjective assessments, manual surveys, or fragmented statistical data. There is a significant technological gap in effectively converting unstructured human intent into actionable, data-driven geographic and demographic insights (Roig-Tierno et al., 2013).

Objective of the research: The primary objective of this research is to develop a hybrid predictive system integrating natural language processing (NLP) with spatial analysis. This model aims to accurately identify the most profitable physical locations by integrating pre-trained LLMs with GIS.

Structure of the work: The study is structured into three main stages: semantic analysis of user input performed using the integrated LLM API, geographic distance calculations implemented using the Haversine formula for spatial constraints, and computation of the location performance index using machine learning algorithms (specifically, SVR and K-means clustering), taking into account factors such as competition density and demographic data.

Research Method

To solve the problem of optimal business location selection, a new artificial intelligence system was developed. This methodology combines pre-trained LLMs, geospatial mathematical computations, and predictive algorithms. The comprehensive workflow of the proposed system is shown in Figure 1.

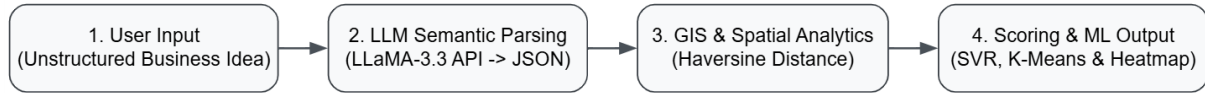


Figure 1.

The system operates across three primary processing stages. Initially, the semantic analysis module employs a LLaMA-3.3 70B model (llama-3.3-70b-versatile) accessed via API to transform unstructured user input into a structured JSON representation (Touvron et al., 2023). This process determines the intended type of business and identifies the necessary support infrastructure, which serves as an attractive factor for potential customers. Next, in the area of spatial analytics, the system uses the Haversine formula to account for the Earth’s spherical geometry when determining distances between the target location and supporting facilities. The distance d between two geographic coordinates, specified by their latitude (ϕ) and longitude (λ) is calculated as follows:

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) + \cos \phi_1 * \cos \phi_2 * \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

In this context, $R = 6371km$ denotes the radius of the Earth. The algorithm then filters all objects located within the specified target radius and evaluates their competitiveness based on density. Additionally, a scoring module was developed to determine the viability of each point on the geographic grid. The performance indicator combines various factors, such as support density, diversity of coverage types, a local demand indicator, and a demographic improvement indicator based on average income and population density. The optimization formula for the location score is formulated as follows:

$$Score = (4.0 \times S_D) + (2.5 \times K_C) + (0.5 \times D_P) - (1.75 \times C_P) + Demo \quad (2)$$

Where S_D is the support density, K_C represents key supporting type coverage, D_P is the demand proxy (calculated via logarithmic scaling of block capacity), C_P denotes the competitive penalty, and $Demo$ is the demographic multiplier. The final dataset is subsequently evaluated using ML techniques, specifically SVR and K-means, to identify high-potential zones and generate interactive heatmaps (Vapnik, 1995; Wu et al., 2008).

Conclusion

The development and implementation of a hybrid predictive model represents a significant advancement in urban commercial planning. The integration of LLMs with GIS and ML effectively bridges the technological gap between unstructured human intent and precise spatial analysis. The proposed architecture replaces traditional subjective location selection methods with a rigorous, data-driven paradigm.

The system's practical effectiveness stems from its ability to autonomously extract critical supporting infrastructure characteristics, accurately compute spherical distances using the Haversine formula, and evaluate locations based on demographic indicators and competitive density metrics. The inclusion of SVR and K-means clustering further enhances the model's robustness by generating intuitive heatmaps that identify the most advantageous geographic coordinates. Ultimately, this paradigm not only reduces financial risks and saves time for SMEs, but also serves as a highly effective tool for the sustainable development of smart cities and strategic planning of new urban infrastructure.

References

1. Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pesaresi, M., Theriault, A., & Tiberghien, T. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
2. Roig-Tierno, N., Baviera-Puig, A., Buitrago-Vera, J., & Mas-Verdu, F. (2013). The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process. *Applied Geography*, 40, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.005>
3. Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M. A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). LLaMA: Open and efficient foundation language models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.13971>
4. Vapnik, V. N. (1995). *The nature of statistical learning theory*. Springer.
5. Wu, X., Kumar, V., Quinlan, J. R., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., McLachlan, G. J., Ng, A., Liu, B., Yu, P. S., Zhou, Z.-H., Steinbach, M., Hand, D. J., & Steinberg, D. (2008). Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and Information Systems*, 14(1), 1–37. <https://doi.org/10.1007/s10115-007-0114-2>



Yeni Şuşa Məscid Kompleksinin Tikintisində Geodeziya Təminatının Mərhələləri

Cəfər Cəfərlil*, Rəna Həsənova Baba-zadə²

^{1,2}Mühəndislik fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S344676@karabakh.edu.az

Xülasə

Bu məqalədə Yeni Şuşa məscid kompleksinin tikintisi zamanı geodeziya təminatının mərhələləri təhlil edilmişdir. Müasir tikinti obyektlərində plan və hündürlük göstəricilərinin layihəyə uyğun şəkildə yerə köçürülməsi mühəndis geodeziyasının əsas vəzifələrindən biridir. Xüsusilə dağlıq relyefə malik ərazilərdə tikinti prosesində məkan dəqiqliyinin təmin olunması obyektin konstruktiv sabitliyi və memarlıq həllərinin düzgün reallaşdırılması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat çərçivəsində tikinti sahəsində yaradılmış plan-hündürlük dayaq şəbəkəsi, layihə oxlarının yerə köçürülməsi, hündürlük nişanlarının verilməsi və nəzarət ölçmələrinin aparılması mərhələləri araşdırılmışdır. Ölçmələr müasir geodeziya cihazları vasitəsilə aparılmış və tikinti prosesində layihə göstəricilərinə uyğunluq təmin edilmişdir.

Aparılmış təhlil göstərir ki, geodeziya təminatı tikinti prosesinin bütün mərhələlərində əsas nəzarət mexanizmi kimi çıxış edir və obyektin plan-hündürlük dəqiqliyinin qorunmasında həlledici rol oynayır.

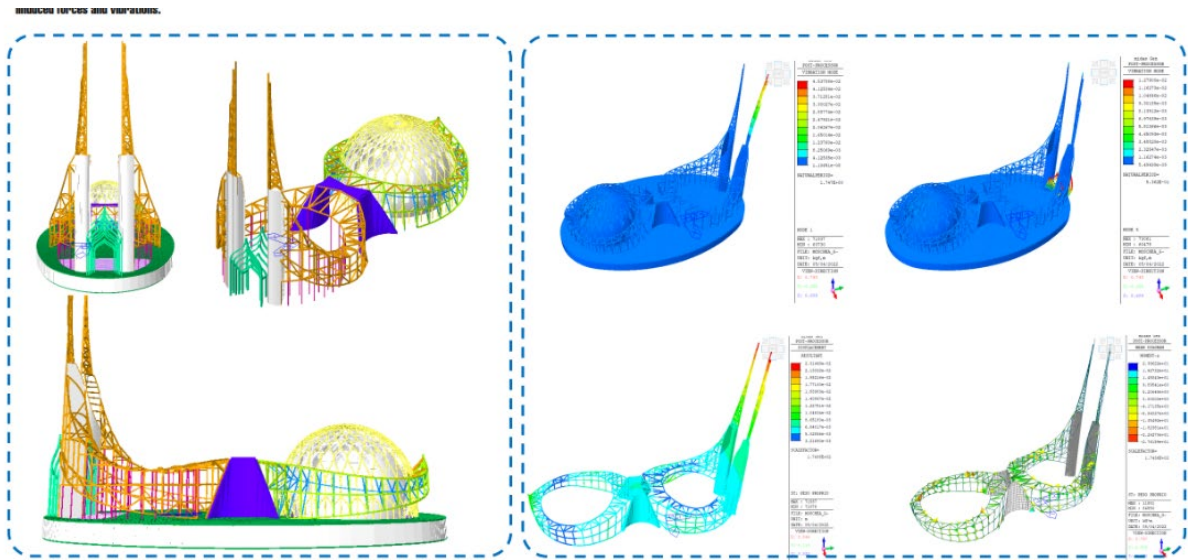
Açar sözlər: İnşaat Prosesi, Geodeziya Təminatı, Hündürlük Nişanı, Layihə Oxları, Şuşa Məscidi

Giriş

Müasir tikinti layihələrinin uğurla həyata keçirilməsi geodeziya təminatının düzgün təşkilindən birbaşa asılıdır. Mühəndis geodeziyası tikilinin layihədə nəzərdə tutulmuş plan mövqeyinin və hündürlük göstəricilərinin yer üzərində dəqiq tətbiqini təmin edir. Xüsusilə mürəkkəb relyef şəraitində aparılan tikinti işlərində məkan dəqiqliyinin qorunması konstruktiv sabitlik, təhlükəsizlik və layihə həllərinin dəqiq icrası baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Şuşa şəhəri dağlıq ərazidə yerləşdiyindən burada aparılan tikinti işləri xüsusi mühəndis dəqiqliyi tələb edir. Yeni Şuşa məscid kompleksinin tikintisi bu baxımdan mühəndis geodeziyası üçün aktual və praktik əhəmiyyətə malik nümunə hesab oluna bilər.

Müasir tikinti praktikasında geodeziya işləri geniş tətbiq olunsa da, dağlıq ərazilərdə yerləşən iri memarlıq obyektlərinin tikintisində plan və hündürlük dəqiqliyinin təmin olunması əlavə çətinliklər yaradır. Relyef fərqləri, səthin meyilliliyi və tikinti meydançasının mürəkkəbliyi ölçmə və tətbiq prosesinə birbaşa təsir göstərir. Bu baxımdan Yeni Şuşa məscid kompleksinin tikintisində geodeziya təminatının mərhələlərinin araşdırılması həm nəzəri, həm də praktik cəhətdən əhəmiyyətlidir.



Şəkil 1. Yeni Şuşa məscid kompleksinin layihə görüntüsü

Şəkilə tikinti obyektinin layihə həlli ümumi şəkildə təqdim olunur.

Tədqiqatın məqsədi Yeni Şuşa məscid kompleksinin tikintisi zamanı həyata keçirilmiş geodeziya təminatının əsas mərhələlərini sistemli şəkildə təhlil etmək, bu mərhələlərin tikinti prosesindəki rolunu müəyyənləşdirmək və mühəndis-geodeziya işlərinin praktik əhəmiyyətini göstərməkdir.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat işi real tikinti obyektində aparılmış geodeziya işlərinin mərhələli təhlilinə əsaslanır. Metodoloji baxımdan iş layihə göstəriciləri ilə tikinti prosesində yerinə yetirilən geodeziya tədbirlərinin müqayisəli araşdırılması prinsipi üzərində qurulmuşdur.

Tədqiqat çərçivəsində aşağıdakı metodlardan istifadə edilmişdir:

- geodeziya ölçmə metodu – tikinti sahəsində plan-hündürlük dayaq nöqtələrinin yaradılması və ölçmələrin aparılması;
- analitik müqayisə metodu – layihə sənədlərində nəzərdə tutulan plan və hündürlük göstəricilərinin yerinə yetirilmə səviyyəsinin qiymətləndirilməsi;
- mühəndis müşahidə metodu – tikinti prosesinin müxtəlif mərhələlərində aparılan nəzarət ölçmələrinin təhlili (Ghilani & Wolf, 2020).

Ölçmələr zamanı elektron taxeometr, nivelir və GPS cihazlarından istifadə edilmişdir.

Cədvəl 1. Ölçmələr zamanı istifadə olunan müasir geodeziya cihazları

Cihazın növü	Cihazın funksiyası
Elektron taxeometr (Total Station)	Plan koordinatlarının təyini, məsafə və bucaqların ölçülməsi
Nivelir	Nöqtələr arasında hündürlük fərqinin müəyyən edilməsi
GPS	İstinad nöqtələrinin koordinatlarının təyini və yoxlanması

Tikinti sahəsində geodeziya işlərinin ilk mərhələsi plan-hündürlük dayaq şəbəkəsinin yaradılması olmuşdur. Bu şəbəkə tikinti meydançasında aparılan bütün sonrakı ölçmə və tətbiq işləri üçün əsas təşkil etmişdir. Dayaq nöqtələri ərazidə sabit, görünən və təhlükəsiz mövqelərdə seçilərək koordinat və hündürlük göstəriciləri müəyyən edilmişdir.

Növbəti mərhələdə layihədə nəzərdə tutulmuş əsas oxlar tikinti sahəsinə köçürülmüşdür. Bu proses zamanı layihə sənədlərində verilmiş plan koordinatları əsasında obyektin konturları, əsas konstruktiv elementləri və istiqamətləri yer üzərində işarələnmişdir.

Nöqtənin plan koordinatları aşağıdakı ifadələr əsasında hesablanıla bilər:

$$X = X_0 + d \cos \alpha \quad (1)$$

$$Y = Y_0 + d \sin \alpha \quad (2)$$

burada, d - məsafə, α – istiqamət bucağıdır.

Tikinti obyektində konstruktiv elementlərin layihə hündürlüklərinə uyğun yerinə yetirilməsi üçün hündürlük nişanları verilmişdir. Bu mərhələdə nivelirləmə işləri aparılmış, əsas və köməkçi nöqtələrin nisbi hündürlükləri müəyyən edilmişdir. Hündürlük nişanlarının düzgün verilməsi bünövrə, döşəmə, pilləkən və digər şaquli elementlərin dəqiq icrasında mühüm rol oynayır (Mütəllibov və b.,2016).

Nivelirləmə zamanı nöqtələrarası hündürlük fərqi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$h = a - b \quad (3)$$

burada a – nivelirləmə zamanı tamasa üzrə geri istiqamətdə oxunmuş hesabət, b – irəli istiqamətdə oxunmuş hesabət (Qəniyeva, 2011).



Şəkil 2. Yeni Şuşa məscid kompleksinin yekun memarlıq görünüşü

Sahədə aparılmış geodeziya ölçmələrinin nəticələri AutoCAD proqramında emal edilmişdir. Proqram mühitində ölçü məlumatları dəqiqləşdirilmiş, plan üzərində koordinatlar yoxlanılmış, oxlar və konturlar işlənmişdir. Bu mərhələ ölçü nəticələrinin sistemləşdirilməsi, layihə ilə müqayisəsi və qrafik təqdimatı baxımından mühüm əhəmiyyət daşımışdır.

Nəticə

Aparılmış təhlil göstərir ki, Yeni Şuşa məscid kompleksinin tikintisində geodeziya təminatı mühüm rol oynamışdır. Dağlıq relyef şəraitində plan-hündürlük dayaq şəbəkəsinin yaradılması, layihə oxlarının yerə köçürülməsi və hündürlük nişanlarının verilməsi tikinti işlərinin layihəyə uyğun və dəqiq icrasını təmin etmişdir. Müasir geodeziya cihazları və AutoCAD proqramında aparılan emal işləri nəticəsində ölçmələrin etibarlılığı artırılmış, obyektin məkan dəqiqliyi qorunmuşdur.

Hazırda məscid kompleksinin tikintisi davam etdirilir və obyektin 2026-cı ilin may ayında istismara verilməsi nəzərdə tutulur.

Beləliklə, mühəndis geodeziyası mürəkkəb tikinti layihələrinin icrasında əsas texniki təminat vasitələrindən biridir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Qəniyeva, S. A. (2011). *Mühəndis geodeziyası*. Bakı.
2. Məmmədov, Q. Ş., & Əhmədov, İ. (2017). *Geodeziya və kartoqrafiyanın əsasları*. Bakı.
3. Mütəllibov, A. M., Qəniyeva, S. A., & Qaziyeva, P. Ç. (2016). *Tətbiqi geodeziya*. Bakı.

4. Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2020). *Elementary surveying: An introduction to geomatics* (14th ed.). Pearson.
5. Milev, G., & Milev, İ. (2017). *Applied geodesy – Part 1: Engineering geodesy*. Bulgaria



Mövcud Yaşayış Binasının Təmiri Zamanı Geodeziya Ölçmə İşlərinin Tətbiqi

İlqar İsgəndərli^{1*}, Cumay Aslanov², Rəna Həsənova Baba-zadə³
^{1,2,3} Mühəndislik fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan
s334034@karabakh.edu.az

Xülasə

Mövcud yaşayış binalarının təmiri zamanı geodeziya ölçmə işləri mühəndislik qərarlarının düzgün qəbul edilməsində mühüm rol oynayır. Bu məqalədə mövcud yaşayış evinin təmir layihəsi əsasında geodeziya ölçmələrinin tətbiqi və planlaşdırma həlləri araşdırılmışdır. Tədqiqat zamanı tikilinin yerləşdiyi sahədə distomat vasitəsilə məsafə ölçmələri aparılmış, sahə sərhədləri və tikilinin mövcud yerləşmə vəziyyəti müəyyən edilmiş, əldə olunan nəticələr layihə materialları ilə müqayisə olunmuşdur. Bununla yanaşı, daxili plan həlli, həyət sahəsinin təşkili və tikilinin sahə daxilində mövqeyi funksional baxımdan qiymətləndirilmişdir. Aparılan müşahidələr göstərmişdir ki, təmir prosesindən əvvəl mövcud vəziyyətin ölçmə yolu ilə dəqiq öyrənilməsi sonrakı planlaşdırma işlərinin keyfiyyətinə birbaşa təsir edir. Geodeziya ölçmələri layihə ilə faktiki vəziyyət arasındakı fərqləri vaxtında aşkar etməyə, həyət sahəsinin daha səmərəli təşkilinə və təmir işləri zamanı səhvlərin azalmasına şərait yaradır. Tədqiqat tələbə səviyyəsində aparılmış praktiki müşahidələrə əsaslanır və inşaat mühəndisliyi təhsilində geodeziya biliklərinin tətbiqi baxımından əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: Geodeziya, Distomat, Təmir, Ölçmə İşləri, Planlaşdırma

Giriş

Mövcud yaşayış binalarının təmiri yalnız memarlıq baxımından deyil, həm də mühəndislik baxımından dəqiq yanaşma tələb edən prosesdir. Təmirə başlamazdan əvvəl tikilinin yerləşdiyi sahənin həqiqi vəziyyətinin öyrənilməsi, ölçülərin yoxlanılması və mövcud plan həllinin qiymətləndirilməsi vacib mərhələlərdəndir. Bu baxımdan geodeziya ölçmə işləri təmir prosesinin ilkin və əsas mərhələlərindən biri hesab edilir (Məmmədov, 2019).

Praktikada tez-tez rast gəlinən problemlərdən biri layihə materialları ilə faktiki vəziyyət arasında uyğunsuzluqların olmasıdır. Sahə sərhədlərinin, tikili ölçülərinin və ya həyət daxilində məsafələrin düzgün müəyyən edilməməsi sonradan həm əlavə xərc, həm də vaxt itkisi yarada bilər. Xüsusilə mövcud tikililərin yenidən planlaşdırılması zamanı ölçmə nəticələrinin dəqiqliyi mühüm əhəmiyyət kəsb edir (Məmmədov & Əhmədov, 2017).

Bu tədqiqat işində mövcud yaşayış binasının təmiri ilə bağlı hazırlanmış memarlıq həlli əsasında geodeziya ölçmələrinin tətbiqi araşdırılmışdır. Tələbə tərəfindən sahədə köməkçi olaraq aparılmış müşahidələr, distomatla həyata keçirilən məsafə ölçmələri və layihə planlarının təhlili tədqiqatın əsasını təşkil etmişdir.

Tədqiqatın məqsədi mövcud yaşayış binasının təmiri zamanı geodeziya ölçmə işlərinin planlaşdırma həllərinə təsirini göstərməkdir. Məqalədə əvvəlcə mövzunun aktuallığı və məqsədi açıqlanır, daha sonra istifadə olunmuş metodlar, ölçmə nəticələrinin qiymətləndirilməsi və ümumi nəticələr təqdim olunur.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat zamanı mövcud yaşayış binasının təmiri üzrə təqdim olunmuş layihə materiallarından və sahədə aparılmış müşahidələrdən istifadə edilmişdir. Əsas diqqət sahənin

faktiki ölçülərinin layihədə göstərilən plan həlli ilə uyğunluğunun qiymətləndirilməsinə yönəldilmişdir. Obyektin koordinatları taxometr vasitəsilə təyin olunmuş, bu işə sahənin plan üzrə dəqiq yerləşdirilməsinə imkan vermişdir. Ölçmə işləri distomat vasitəsilə aparılmışdır. Cihazdan istifadə etməklə sahə daxilində əsas məsafələr, sərhəd xətləri və tikilinin yerləşmə vəziyyəti müəyyən edilmişdir (Ghilani & Wolf, 2020). Alınmış göstəricilər qeydə alınaraq plan üzərindəki məlumatlarla müqayisə edilmişdir. Bu mərhələ təmirə başlamazdan əvvəl mövcud vəziyyətin dəqiqləşdirilməsi üçün vacib olmuşdur.

Layihə materiallarına əsasən sahənin ümumi ölçüsü təxminən 1440 m², tikilinin ümumi sahəsi isə 149.46 m²-dir. Tikili sahəsi 160.5 m² kimi göstərilmişdir. Bu göstəricilərdən istifadə etməklə tikilinin sahə daxilində yerləşdirilməsi, həyətin sərbəst hissəsinin miqdarı və giriş hissəsinin təşkili təhlil edilmişdir.

Tədqiqat zamanı aşağıdakı işlər yerinə yetirilmişdir: sahə sərhədlərinin yoxlanılması, əsas məsafələrin ölçülməsi, mövcud tikilinin yerləşmə vəziyyətinin qiymətləndirilməsi, layihə planı ilə faktiki vəziyyətin müqayisəsi və daxili plan həllinin funksional baxımdan nəzərdən keçirilməsi. Daxili planın təhlili zamanı otaqların yerləşməsi, keçidlərin rahatlığı və sanitariya qovşaqlarının yerləşdirilməsi kimi məsələlər nəzərə alınmışdır. Həmçinin həyət sahəsinin təmir sonrası istifadə imkanları və tikilinin sahə daxilində mövqeyinin funksionallığı qiymətləndirilmişdir.

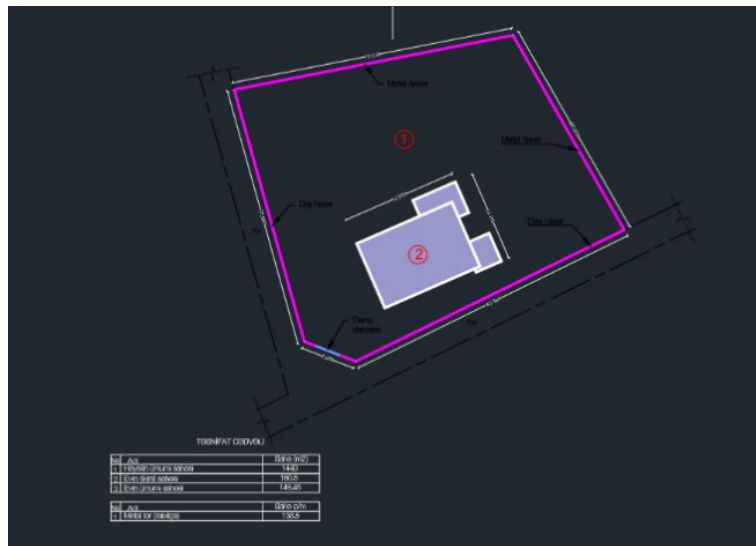
Ölçmə nəticələrinin layihə göstəriciləri ilə müqayisəsi aşağıdakı cədvəldə təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 1. Layihə və ölçmə nəticələrinin müqayisəsi

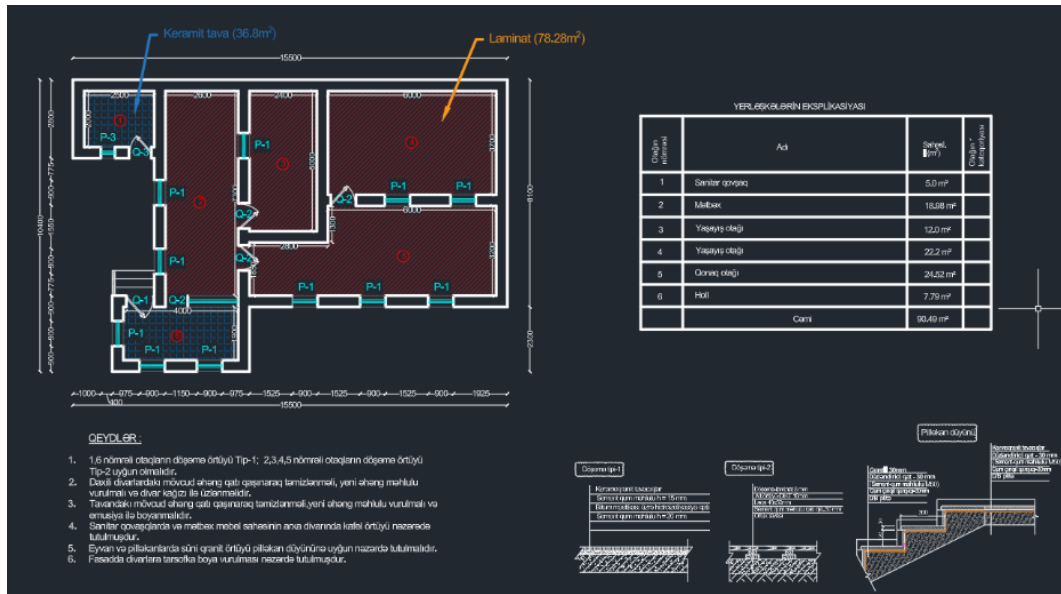
Göstərici	Layihə üzrə	Ölçmələr üzrə	Fərq
Ümumi sahə	1440 m ²	1437 m ²	-3 m ²
Tikilinin sahəsi	160.5 m ²	158 m ²	-2.5 m ²
Sərhəd məsafələri	Uyğun	Uyğun	yoxdur

Cədvəldə təqdim olunan nəticələrdən görüldüyü kimi, ölçmə göstəriciləri layihə məlumatlarına yaxın olmuşdur və ciddi uyğunsuzluq qeydə alınmamışdır. Bu işə mövcud tikilinin planlaşdırma həllərinin düzgün seçildiyini göstərir. Eyni zamanda sahə daxilində tikilinin yerləşməsi və sərhədlərə olan məsafələr funksional baxımdan qənaətbəxş hesab edilmişdir.

Distomat vasitəsilə aparılmış ölçmələr əvvəlcə abris üzərində qeyd olunmuş, daha sonra AutoCAD proqramında rəqəmsal formada emal edilərək plan üzərində dəqiqləşdirilmişdir (Ching, 2014).



Şəkil 1. Mövcud yaşayış binasının yerləşdiyi sahənin planı.



Şəkil 2. Mövcud yaşayış binasının daxili plan həlli.

Şəkillərdə sahə planı və daxili plan həlli göstərilmişdir. Bu materiallar ölçmə nəticələrinin layihə ilə uyğunluğunu vizual şəkildə qiymətləndirməyə imkan verir.

Nəticə

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, geodeziya ölçmələri mövcud yaşayış binasının təmiri prosesində mühüm rol oynayır. Sahənin dəqiq ölçülməsi və layihə ilə müqayisə edilməsi düzgün planlaşdırma qərarlarının qəbul olunmasına imkan verir. Distomat vasitəsilə aparılmış ölçmələr tikilinin sahə daxilində mövqeyinin, sərhədlərə olan məsafələrinin və açıq sahələrin qiymətləndirilməsində faydalı olmuşdur. Tikilinin daxili planının və həyət təşkilinin birlikdə nəzərdən keçirilməsi göstərmişdir ki, təmir işlərinə başlamazdan əvvəl faktiki vəziyyətin ölçmə yolu ilə dəqiqləşdirilməsi gələcək səhvlərin qarşısını alır. Bu iş tələbə səviyyəsində aparılmış müşahidələrə əsaslanarsa da, geodeziya biliklərinin inşaat mühəndisliyi sahəsində tətbiqini aydın şəkildə göstərir. Nəticə etibarilə, təmir prosesində geodeziya ölçmə işləri planlaşdırmanın dəqiqliyini artıran əsas vasitələrdən biri kimi qiymətləndirilə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Q. Ş. Məmmədov, İ.Əhmədov. (2017). Geodeziya və kartoqrafiyanın əsasları. Bakı, Elm Nəşriyyatı
2. Məmmədov, A. (2019). Memarlıq və planlaşdırma prinsipləri. Bakı: Təhsil nəşriyyatı.
3. Ching, F. D. K. (2014). Architecture: Form, Space, and Order. Wiley.
4. Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2020). Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics.



Çoxzamanlı peyk məlumatları əsasında Gədəbəy rayonunda vegetasiya örtüyünün dinamikasının təhlili

Qaragöz İsgəndərzadə

Magistratura Şöbəsi, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan
qaragozisgandarzada@gmail.com

Xülasə

Bu tədqiqat işində Gədəbəy rayonunda vegetasiya örtüyünün çoxzamanlı peyk məlumatları əsasında dəyişmə dinamikası təhlil edilmişdir. Müasir dövrdə iqlim dəyişiklikləri və insan amilinin təsiri ilə torpaq-bitki örtüyündə baş verən dəyişikliklərin monitorinqi, ətraf mühitin səmərəli idarə olunması və davamlı inkişaf baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqat çərçivəsində 2005–2025-ci illəri əhatə edən müxtəlif zaman intervallı peyk təsvirlərindən istifadə olunmuşdur. Coğrafi məlumatların emalı və analizi Google Earth Engine bulud platformasında həyata keçirilmiş, vegetasiya örtüyünün keyfiyyətini qiymətləndirmək üçün çoxspektral analiz metodları tətbiq edilərək xüsusi bitki indeksləri hesablanmışdır.

Alınmış nəticələr göstərir ki, 20 illik dövr ərzində rayonun fərqli zonalarında vegetasiya sıxlığında dalğalanmalar və struktur dəyişiklikləri baş vermişdir. Müxtəlif illərin müqayisəsi nəticəsində bitki örtüyünün məkan və zaman üzrə yayılmasında həm artım, həm də azalma tendensiyaları müəyyən edilmişdir.

Əldə olunan nəticələr sübut edir ki, peyk məlumatları ərazi örtüyündəki dəyişikliklərin operativ və dəqiq müəyyən edilməsinə imkan verir. Bu yanaşma gələcəkdə torpaq istifadəsinin planlaşdırılması və ekoloji monitorinq üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: Məsafədən Zondlama, NDVI, Vegetasiya Örtüyü

Giriş

Müasir dövrdə ərazi örtüyündə baş verən dəyişikliklərin monitorinqi və təhlili mühüm elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə vegetasiya örtüyünün dinamikasının öyrənilməsi kənd təsərrüfatı, ekoloji vəziyyətin qiymətləndirilməsi və təbii resursların idarə olunması baxımından vacibdir (Zhang & Li, 2022). Məsafədən zondlama texnologiyaları bu sahədə geniş tətbiq olunaraq böyük ərazilərin qısa müddətdə və yüksək dəqiqliklə təhlilinə imkan yaradır (Gülci et al., 2025).

Son illərdə peyk məlumatlarının əlçatanlığının artması və onların emalı üçün müasir platformaların inkişafı bu sahədə aparılan tədqiqatların sayını artırmışdır (Wang et al., 2021). Lakin bəzi regionlarda, o cümlədən Gədəbəy rayonunda vegetasiya örtüyünün uzunmüddətli dəyişmə dinamikasının təhlili kifayət qədər araşdırılmamışdır.

Bu tədqiqatın məqsədi çoxzamanlı peyk məlumatları əsasında Gədəbəy rayonunda vegetasiya örtüyündə baş verən dəyişikliklərin təhlilidir. Bu məqsədə çatmaq üçün müxtəlif illərə aid peyk təsvirləri seçilmiş, NDVI indeksi hesablanmış və əldə olunan nəticələr müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.

Tezis giriş, tədqiqat metodu, nəticə və ədəbiyyat siyahısı bölmələrindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat işində müxtəlif zaman intervallarına aid peyk məlumatlarından istifadə olunmuşdur. Erkən dövr üçün Landsat 5, daha yeni dövrlər üçün isə Sentinel-2 peyk təsvirləri istifadə edilmişdir (Haile et al., 2025; Gülci et al., 2025).

Məlumatların emalı və analizi Google Earth Engine platformasında həyata keçirilmişdir (Zhang & Li, 2022). Vegetasiya örtüyünün qiymətləndirilməsi məqsədilə NDVI indeksi

hesablanmışdır. NDVI indeksi qırmızı (Red) və yaxın infraqırmızı (NIR) spektral bantlar əsasında hesablanaraq bitki örtüyünün sıxlığını və sağlamlığını müəyyən etməyə imkan verir (Setiawan et al., 2024; Bhawana, 2015).

Tədqiqat çərçivəsində 2005 və 2025-ci illərə aid may və noyabr ayları üzrə peyk təsvirləri seçilmişdir. Seçilmiş təsvirlər buludlardan təmizlənmiş və tədqiqat ərazisi üzrə kəsilərək analiz üçün hazırlanmışdır. Daha sonra əldə olunan NDVI xəritələri müqayisə edilərək vegetasiya örtüyünün dəyişmə dinamikası təhlil edilmişdir.

Nəticə

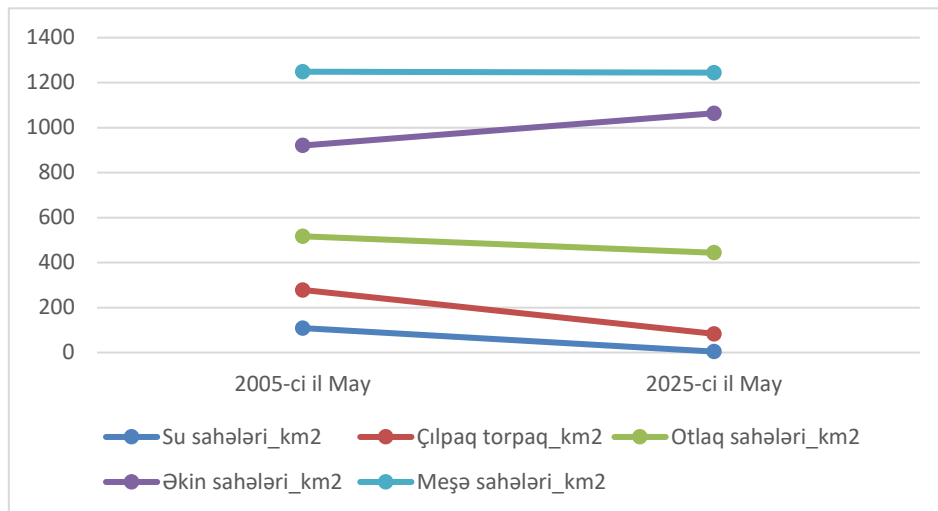
Aparılmış təhlillər nəticəsində 2005 və 2025-ci illər üzrə ərazi örtüyündə əhəmiyyətli dəyişikliklər müəyyən edilmişdir. May ayına aid NDVI göstəricilərinin müqayisəsi göstərir ki, əkin sahələri və otlaq əraziləri artmış, eyni zamanda meşə sahələrinin azalması müşahidə olunmuşdur. Bu dəyişikliklər ərazidə kənd təsərrüfatı fəaliyyətinin genişlənməsi ilə izah oluna bilər.

Noyabr ayı üzrə aparılan təhlillər vegetasiya örtüyünün mövsümi olaraq zəiflədiyini göstərir. Bu dövrdə NDVI dəyərlərinin aşağı olması səbəbindən meşə sahələri minimal səviyyədə müşahidə olunur, otlaq sahələri isə üstünlük təşkil edir.

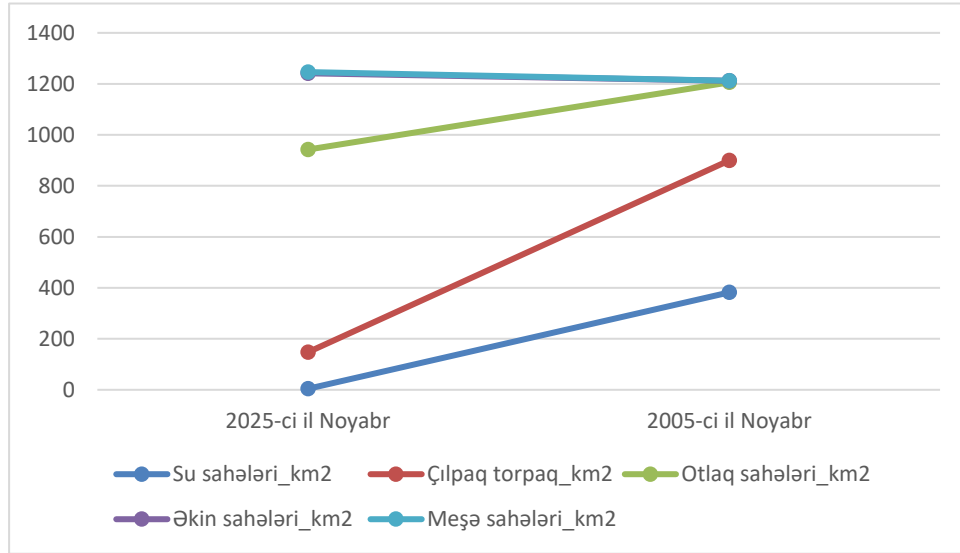
Ümumilikdə, 20 illik dövr ərzində ərazi örtüyündə baş verən dəyişikliklər həm təbii proseslərin, həm də antropogen təsirlərin nəticəsi kimi qiymətləndirilə bilər.

Cədvəl 1. 2005 və 2025-ci illərin may və noyabr ayları üzrə NDVI göstəricilərinin müqayisəsi.

İl	Su sahələri	Çılpaq ərazilər	Otlaq sahələri	Əkin sahələri	Meşə sahələri
2005-ci il May	108.8163 km ²	169.6014 km ²	238.4604 km ²	403.5249 km ²	328.0716 km ²
2025-ci il May	4.2885 km ²	79.0506 km ²	360.2925 km ²	620.2287 km ²	180.5535 km ²
2025-ci il Noyabr	4.1013 km ²	143.4582 km ²	794.8566 km ²	298.9179 km ²	4.8411 km ²
2005-ci il Noyabr	382.0626 km ²	517.7322 km ²	306.0423 km ²	6.3081 km ²	0.099 km ²



Şəkil 1. May ayı vegetasiya göstəricisinin (NDVI) müqayisəsi (2005–2025)



Şəkil 2. Noyabr ayı vegetasiya göstəricisinin (NDVI) müqayisəsi (2005-2025).

Əldə olunmuş nəticələr vizuallaşdırılaraq qrafik şəklində təqdim edilmiş və ərazi örtüyündə baş verən dəyişikliklərin dinamikası aydın şəkildə nümayiş etdirilmişdir

Ədəbiyyat siyahısı

1. Setiawan, O., et al. (2024). Unraveling land use land cover change, their driving factors, and implication on carbon storage through an integrated modelling approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 27(1), 45–62.
2. Bhawana, K. C. (2015). Land Use and Land Cover Change in Relation to Internal Migration and Human Settlement in the Middle Mountains of Nepal (MSc Thesis). University of Twente..
3. Haile, B. T., et al. (2025). Land Use/Land Cover (LULC) Change and Irrigated Area Monitoring in Eritrea: Insights into Horticultural Production and Sustainability. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 10(2), 101–118.
4. Gülci, S., Wing, M., & Akay, A. E. (2025). Land Use and Land Cover (LULC) Mapping Accuracy Using Single-Date Sentinel-2 MSI Imagery with Random Forest and Classification and Regression Tree Classifiers. *Geomatics*, 4(1), 33–50.
5. Ali Oumer, H. (2009). Land Use and Land Cover Change, Drivers and Its Impact: A Comparative Study from Kuhar Michael and Lenche Dima of Blue Nile and Awash Basins of Ethiopia (Doctoral dissertation). Cornell University.
6. Zhang, C., & Li, X. (2022). Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data. *Land*, 11(4), 512–528.
7. Wang, S. W., Munkhnasan, L., & Lee, W.-K. (2021). Land use and land cover change detection and prediction in Bhutan's high altitude city of Thimphu, using cellular automata and Markov chain. *Environmental Challenges*, 5, 100298.
8. Firdaus, R. (2014). Assessing Land Use and Land Cover Change toward Sustainability in Humid Tropical Watersheds, Indonesia (Doctoral dissertation). Hiroshima University.



Optimization of Burner Geometry for Reducing NO_x Emissions

Tamilla Khankishiyeva¹, Javid Mustafayev^{2*}

¹*Industrial machinery, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan*
javid.a.mustafayev@gmail.com

Abstract

Burner geometry is one of the most important factors affecting combustion efficiency in industrial refinery furnaces. The arrangement of fuel and air nozzles, burner tile structure, swirl generation, and fuel staging directly influence flame stability, heat transfer, and pollutant formation. Even small geometric differences in burner design may lead to significant changes in combustion behavior, especially under variable operating conditions commonly observed in refinery processes. Among the major environmental concerns in furnace operation, nitrogen oxide (NO_x) emissions remain one of the most critical issues due to their direct relationship with flame temperature and oxygen distribution. Conventional burner systems designed according to refinery service requirements, including those described in API Standard 560, aim to maintain stable combustion while limiting excessive NO_x formation. However, localized high-temperature zones and non-uniform fuel–air mixing still create operational challenges in many practical cases. This paper focuses on the influence of burner geometry on combustion efficiency, with particular attention to Low-NO_x burner configurations. A modified burner structure is considered by improving the fuel distribution system through an additional tertiary fuel gas injection near the secondary combustion zone. The purpose of this modification is to achieve better mixing, reduce flame temperature peaks, and improve combustion uniformity inside the furnace. A preliminary geometric evaluation was carried out using SolidWorks-based modeling to compare the conventional and modified burner configurations. The analysis indicates that improved fuel staging and better geometric alignment can support more stable flame behavior and reduce the conditions that promote thermal NO_x formation. The results suggest that burner geometry optimization can be an effective method for improving combustion efficiency, reducing emissions, and increasing operational flexibility in refinery furnace applications. This approach provides a practical basis for further CFD analysis and advanced burner design studies.

Key words: Burner, furnace, refinery, combustion, flame.

Introduction

Industrial refinery furnaces are among the most important thermal units used in petroleum processing plants, where crude oil and intermediate products are heated before separation, distillation, or further chemical treatment. The overall performance of these furnaces directly affects fuel consumption, production efficiency, operational safety, and environmental impact. For this reason, maintaining stable and efficient combustion is considered one of the key requirements in refinery operations. Among the many factors influencing combustion behavior, burner geometry plays a particularly important role because it determines how fuel and air interact inside the combustion zone. Parameters such as nozzle arrangement, burner tile design, swirl intensity, and fuel staging strongly influence flame stability, heat transfer, and emission formation. Therefore, the study of burner geometry is both practically important and scientifically relevant for improving furnace performance. In recent years, increasing

environmental regulations and stricter industrial standards have created a stronger need for low-emission combustion systems, especially regarding nitrogen oxide (NOx) emissions.

The main objective of this research is to analyze the effect of burner geometry on combustion efficiency and to evaluate the potential improvement of Low-NOx burner performance through an additional tertiary fuel gas injection stage.

Research methodology

In this study, the influence of burner geometry on combustion efficiency and NOx emissions in refinery furnaces is investigated with particular focus on Low-NOx burner configurations. The main objective is to evaluate the existing burner structure and analyze the possibility of improving combustion performance by introducing an additional tertiary fuel gas injection stage. Special attention is given to thermal NOx formation, since NOx remains one of the most critical environmental concerns in industrial fired heaters. At the initial stage, the conventional Low-NOx burner configuration commonly used in refinery furnaces and designed according to API 560 requirements was modeled using SolidWorks. In the existing design, primary and secondary fuel gas distribution systems are used to control flame development and reduce excessive flame temperatures. These stages help improve fuel–air mixing and support combustion stability. However, under practical operating conditions, localized high-temperature zones, commonly referred to as hot spots, may still occur due to non-uniform mixing and unstable flow behavior. These local flame peaks are one of the main reasons for increased thermal NOx formation. It is important to note that NOx formation is not determined only by the average combustion temperature inside the furnace. The most significant factor is the local peak flame temperature and the residence time of combustion products in these high-temperature regions. For example, two burners may operate at the same average furnace temperature, such as 1200°C, but if one burner produces local flame peaks of 1500–1600°C while the other maintains a more uniform temperature field, the first burner will generate significantly higher NOx emissions. This behavior is explained by the Zeldovich thermal NOx mechanism, where NOx formation increases rapidly at high temperatures. To reduce these local temperature peaks, a modified burner configuration is proposed by adding an additional tertiary fuel gas injection near the secondary combustion zone. The purpose of this design modification is to improve fuel distribution, enhance mixing quality, and create a more homogeneous combustion region. Better fuel staging is expected to reduce localized overheating and shorten residence time at peak flame conditions, which directly contributes to lower thermal NOx formation and improved flame stability. At present, the detailed geometric analysis of the modified burner is being carried out in SolidWorks. Parameters such as nozzle location, injection angle, fuel flow direction, and burner tile geometry are being optimized to identify the most effective structural configuration. Preliminary observations indicate that the additional tertiary fuel gas injection improves combustion uniformity and supports better operational flexibility under varying refinery fuel gas compositions. If the results obtained from SolidWorks confirm the expected improvement, further validation through CFD simulation is planned using ANSYS. In the next stage, temperature distribution, velocity field, turbulence behavior, and NOx prediction will be analyzed in greater detail. This will provide stronger technical validation of the proposed design from both thermal and fluid dynamic perspectives.

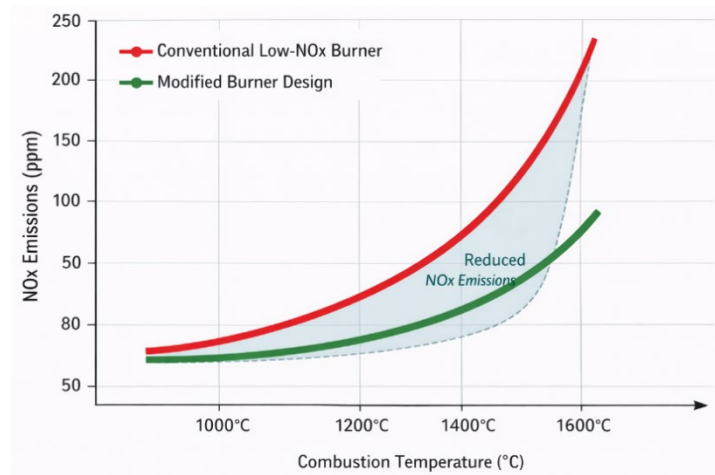


Figure 1. Relationship between combustion temperature and NOx emissions

Figure 1 shows the expected relationship between combustion temperature and NOx emissions for both the conventional Low-NOx burner and the modified burner design. Although the average combustion temperature increases in both cases, the modified burner shows lower NOx formation because improved geometry reduces local hot spots and creates a more stable flame structure. The difference becomes more significant at higher combustion temperatures, where thermal NOx formation becomes dominant. This methodology provides a practical basis for evaluating burner geometry optimization and supports the development of improved Low-NOx burner designs for refinery furnace applications.

Results

The preliminary SolidWorks-based analysis indicates that the modified burner design with tertiary fuel gas injection improves fuel–air mixing and reduces localized high-temperature zones inside the combustion region. As a result, lower thermal NOx formation and more stable combustion performance are expected compared to the conventional Low-NOx burner configuration.

References

1. Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
2. Baukal, C. E. (2004). *Industrial burners handbook*. CRC Press.
3. Baukal, C. E. (2013). *The John Zink Hamworthy combustion handbook* (2nd ed.). CRC Press.
4. Glassman, I., Yetter, R. A., & Glumac, N. G. (2014). *Combustion* (5th ed.). Academic Press.
5. American Petroleum Institute. (2016). *API Standard 560: Fired heaters for general refinery service*. American Petroleum Institute.



Mexaniki Parkerin İqtisadi Səmərəliliyinin Yüksəldilməsi

Osman Mirzəyev, Fatima Məmmədova

Bakı Mühəndislik universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

omirzayev@beu.edu.az

Xülasə

Pakerlər layların bir-birindən əlaqəsini kəsmək, neft, qaz və vurucu quyuların, həmçinin quyularda profilaktik-təmir işləri apardıqda istismar kəmərinin mühitin təsirindən təcrid etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Paker fontan, qazlift, nasos və vurucu quyularda istismar bir layda aparıldıqda və bir quyunun müxtəlif laylarını eyni vaxtda istismar etdikdə istifadə olunan əsas quyu avadanlıqlarından biridir. Pakerlərdən quyularda layların hidravliki yarıqlama, turşu ilə və termiki emal etmə, izolyasiya işləri, hidroqum şırnaqla perforasiya kimi texnoloji əməliyyatları apardıqda geniş istifadə olunur. Paker quyuya qaldırıcı (lift) boru kəməri ilə buraxılır.

Paker quyuların istismarında və mənimsənilməsində maneəsiz olaraq alət və quyu avadanlıqlarının ondan keçməsinə təmin etməlidir.

Açar sözlər: Paker, lay, lövbər, temperatur

Mövzunun aktuallığı

Paker neft qaz quyularının istismarında istifadə olunan əsas quyu avadanlıqlarından biridir.

Onun vəzifəsi layların bir-birindən əlaqəsini kəsmək, neft, qaz və vurucu quyuların, həmçinin quyularda profilaktik-təmir işləri apardıqda istismar kəmərinin mühitin təsirindən təcrid etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Neftin çıxarılmasında əsasən fontan, qazlift və ya nasos üsullarında hər hansı birinin köməyi ilə istismar olunur. Bu qurğu quyularda istismar bir layda aparıldıqda və ya bir quyunun müxtəlif laylarını eyni vaxtda istismar etdikdə istifadə olunan əsas quyu avadanlıqlarından biridir. Pakerlərdən quyularda layların hidravliki yarıqlama, turşu ilə və termiki emal etmə, izolyasiya işləri, hidroqum şırnaqla perforasiya kimi texnoloji əməliyyatları apardıqda geniş istifadə olunur. Paker quyuya qaldırıcı (lift) boru kəməri ilə buraxılır.

Paker quyuların istismarında və mənimsənilməsində maneəsiz olaraq alət və quyu avadanlıqlarının ondan keçməsinə təmin etməlidir.

Pakerlər aşağıdakılar üçün istifadə olunur:

1. təbəqələrin ayrılması;
2. quyuların istismarı zamanı boru kəmərlərinin quyu mühitinin təsirindən təcrid edilməsi;
3. onlarda təmir və texniki xidmət işlərinin aparılması
4. məhsuldar təbəqənin hidravlik qırılması, turşu və istilik müalicəsi üçün texnoloji əməliyyatların aparılması;
5. izolyasiya işlərinin yerinə yetirilməsi;
6. məftil filtrlərinin və kəsici klapanların quraşdırılması;
7. quyu diblərinin təmizlənməsi;
8. qazlift əməliyyatı və s.

Neft hasilatı edən zaman pakerlər aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

- Daha yüksək performans;
- Çoxməqsədli, müxtəlif iş şəraitinə uyğunlaşma;
- Daha uzun xidmət müddəti;

- Daha sadə dizayn;
- Böyük diametr və sızdırmazlıq materiallarının daha elastik bərpası;

Pakerlər aşağıdakı tiplərə bölünürlər:

- ΠΒ – təzyiqlər fərqi yaranan yuxarı istiqamətlənmiş qüvvəni qəbul edən paker;
- ΠΗ – təzyiqlər fərqi yaranan aşağı istiqamətlənmiş qüvvəni qəbul edən paker;
- ΠΔ – təzyiqlər fərqi yaranan aşağı və yuxarı istiqamətlənmiş qüvvələri qəbul edən paker;
- Γ – hidravliki paker;
- Μ – mexaniki paker;
- ΓΜ – hidromexaniki paker.

İşlədiyi mühitdən asılı olaraq pakerlərin aşağıdakı növləri vardır:

- K1 - karbon qazına davamlıdır;
- K2 və K3 — hidrogen sulfidə davamlı;
- T - istiliyə davamlı.

Lövbər – qaldırıcı kəmərləri istismar kəmərlərinə lövbərləşdirmək və quyu avadanlıqlarının oxboyu qüvvələrin təsirindən yerdəyişməsinə məhdudlaşdırmaq üçün istifadə olunan qurğudur.

Lövbər qurğuları əsasən ΠΒ və ΠΗ pakerlərdə istifadəsi nəzərdə tutulmuşdur.

Pakerlərin şərti işarələnməsi aşağıdakı kimidir:

Pakerin tipini göstərən hərflərdən sonrakı birinci ədəd keçidlərin sayını, hərflərdən əvvəl olan rəqəm pakerin modelini, hərflərdən sonra olan birinci ədəd - pakerin xarici diametrini (mm), ikinci ədəd – işçi təzyiqi (pakerin qəbul etdiyi maksimal təzyiqlər fərqi), K2 - son işarə olmaqla H₂S və CO₂ -yə davamlı olmasını göstərir

Pakerin şərti işarələnməsində: ΠΒ, ΠΗ, ΠΔ pakerin tipini, F, M, FM - pakerin oturdulması və azad edilməsi üsullarını, Я– hərfinin olması isə onda lövbər qurğusunun olmasını,. Məsələn: ΠΗ-ЯМ 150-500, ΠΗ-ЯΓМ-118-210, 1ΠΔ- ЯГ-136-500, ΠΔ -Г-136-210K2.

Məqalədə Mexaniki paker analiz edilərək, onun konstruktiv quruluşunun təhlili, həmçinin B71-50 rezin elementindən istifadə etməklə pakerin iqtisadi səmərəliliyinin artırılması məsələsinə baxılmışdır.

Aparılan tədqiqatın nəticəsi göstərir ki, ənənəvi kipləşdiricilərin yerinə, B 71-50 rezin elementindən istifadə etməklə pakerin kipləşdiricisinin daha uzun müddətli istifadə edilməsinə nail olmaq mümkündür. Bu rezin element Rusya tərəfindən müasir standartlara əsasən istehsal olunur. Bu üstünlüklərə aşağıdakılar daxildir:

- Yüksək temperaturda davamlılıq;
- Eroziyaya davamlılıq;
- Sürtünmə qüvvəsinə qarşı davamlılıq və s.

Quyularda dərinlik artıqca temperaturda artdığından, pakerlərin kipləşdirici elementində temperatura dözümlü olan materialdan hazırlamaq lazımdır. B 71-50 rezin elementi də temperaturda davamlı olduğundan pakerin kipləşdirici elementində bu materialdan istifadə edilməsi onun daha uzunmüddətli olmasına müsbət təsir göstərir.

Mexaniki pakerlər iki cür olur:

1) Tək tutacaqlı pakerlər (şəkil 1.1);

Tək tutacaqlı pakerlər borularda sıxılma yada gərginlik olduqda istifadə edilir. Tək tutacaqlı pakerlərdə onun bərkidilmiş şəkildə saxlanması üçün sıxılma və ya gərginlik gücünə ehtiyac duyulur.

2) İki tutacaqlı pakerlər (şəkil 1.2);

Tək tutuşlu pakerlər aşağı təzyiqli sahələr istisna olmaqla çox istifadə edilmir. Əksər hallarda gərginlikdən sərbəst istifadə edilməsi üçün iki tutuşlu gərginlikli pakerlərdən istifadə edilir. Ümumilikdə isə bu pakerlər gözlənilən təzyiqin aşağı olduğu hallarda tətbiq edilməsi daha uyğundur.

İki tutacaqlı pakerlər ən çox yayılmış növlərdən biridir. Bu pakerlər dayaz və orta dərinlikli quyularda, orta və yüksək təzyiqlərdə tətbiq edilməsi üçün uyğun və çox yönlü pakerdir.

SR-1 (şəkil 1.3) iki tutacaqlı mexaniki pakerə nümunədir. Hidravlik sürüşmələrdən istifadə edir. Bu tip pakerlər sıxılma zamanı quraşdırılır və borunun sıxılmasını təmin edir. Hidravlik sürüşmələr yüksək təzyiqlə səbəbindən pakerin quyuda məcburi qalxmasının qarşısını alır.



Şəkil 1.1. Tək tutacaqlı mexaniki paker



Şəkil 1.2. İki tutacaqlı mexaniki paker



Şəkil 1.3. SR-1 iki tutacaqlı mexaniki paker



Şəkil 2. IIM mexaniki pakeri

Pakerin iqtisadi səmərəliliyinin artırılmasında irəli sürülən yenilik

Neft-qaz quyuları istismar edilən zaman istifadə edilən və quyuya daxilindəki avadanlıqların dəstinə aid edilən paker qurğuları layların əlaqəsinin kəsilməsi üçün istifadə edilir. Pakerlər əsasən istismar müxtəlif və ya bir quyuda aparılan zaman istifadə edilir. Quyular istismar edilən zaman paker avadanlıqları alətlərin oradan maneəsiz keçməsinə təmin edir. Pakerlər quyuya nasos-kompressor borularının köməyi ilə buraxılır. Müasirləşmiş dövrdə neft-qaz quyularının istismarının artması nəticəsində paker avadanlıqlarının istifadəsinə tələbat daha da artmışdır.

Pakerin kipləşdirici manjetləri onun əsas parametrlərinə daxildir. Pakerin kipləşdirici manjetinin iş qabiliyyəti onun işgörməsi ilə xarakterizə edilir. Paker qurğularının müasir dövrdə istifadəsinin artması onun kipləşdirici manjetinin işgörmə qabiliyyətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bunun nəticəsində onun hermetikləşməsi pozulur, həm də onun rezin materialı pakerin metal hissəsinə axır, həmçinin pakerin kipləşdirici manjeti istismar kəmərinin üzərinə yapışır.

Pakerin kipləşdirici manjeti onun tərpnəməyən lövbəriylə lülənin arasında yerləşir. Pakerin kipləşdirici manjetinin işgörmə qabiliyyətini müəyyən edən amillərə onun oxboyu yüklənməsi, pakerin qəbul edəcəyi təzyiq düşgülləri və onun lay temperaturundan asılı olaraq dəyişir. Bu zaman pakerin kipləşdiricisi mühim iş şəraitində istifadə edildiyindən sürtünmə nəticəsində yeyilir. Bunun qarşısının alınmasında əsas aktual məsələlərdən biridir.

İqtisadi səmərəliliyin artırılmasında irəli sürülən yenilik:

Ənənəvi kipləşdiricilərin yerinə, 6 71-50 rezin elementindən istifadə etməklə pakerin kipləşdiricisinin daha uzun müddətli istifadə edilməsinə nail olmaq olar. Bu rezin element Rusya tərəfindən müasir standartlara əsasən istehsal olunur. Б 71-50 rezin elementinin bir sıra üstünlükləri vardır. Bu üstünlüklərə aşağıdakılar daxildir:

- Yüksək temperatura davamlılıq;
- Eroziyaya davamlılıq;
- Sürtünmə qüvvəsinə davamlılıq və s.

Quyularda dərinlik artıqca temperaturda artdığından, pakerlərin kipləşdirici elementində temperatura dözümlü olan materialdan hazırlamaq lazımdır. Б 71-50 rezin elementi də temperaturda davamlı olduğundan pakerin kipləşdirici elementində bu materialdan istifadə edilməsi onun daha uzunmüddətli olmasına müsbət təsir göstərir.

İqtisadi səmərəliliyin hesablanması üçün istifadə edilən düstur (3.1):

$$C=C_e \sum_1^q K_e \zeta_e + P + \zeta, \quad (1)$$

burada C_e – baza kimi götürülmüş avadanlığının elementinin faktiki maya dəyəri;

q – avadanlığın kinematik, elektrik və digər sxemlər üzrə qrup elementlərinin miqdarı;

ζ_e – qrupda eyni elementlərin və element əmsallarının miqdarı;

P – layihə olunan avadanlığın maya dəyərinə daxil olan satın alınan məmulatların dəyəri;

ζ – avadanlığın layihə olunmasına sərf olunan xərclər.

K_e – 1,25 sabitdir, dəyişmir.

Layihə olunan avadanlığın qiyməti baza avadanlığının göstəricilərinə əsasən təyin olunur.

Avadanlığın konstruksiyasında dəyişiklik edilməmişdən əvvəl:

$$3000 \sum_1^{14} 1,25 \times 2 + 1500 + 200 = 789200$$

Avadanlığın konstruksiyasında dəyişiklik etdikdən sonra:

$$3000 \sum_1^{14} 1,25 \times 2 + 1450 + 195 = 789145$$

Nəticə

Mexaniki pakerin kipləşdiricisi onun əsas parametrlərindən biridir, lakin istifadə zamanı pakerin manjeti çox tez korlandığından, bu problemin aradan qaldırılması üçün B71-50 rezin elementindən istifadə təyin edilmişdir.

Mexaniki pakerin konstruksiyası analiz edilərək, müəyyən bir tədqiqat obyektini seçilmiş və müəyyən edilmişdir ki, quyunun dərinliyi artdıqca quyuağı temperatur artır. B71-50 rezin elementində yüksək temperatura davamlı olduğundan, pakerin kipləşdici elementi kimi istifadə edilməsi təklif edilmişdir .

Kipləşdiricinin təsir edən sürtünmə qüvvəsinə davamlılığını artırmaq məqsədi ilə B71-50 rezin elementindən istifadə edilməsi təklifi verilmişdir. Bunun nəticəsində də, kipləşdiricini daha uzunmüddətli istifadə etmək və iqtisadi səmərəliliyi artırmaq mümkündür.

Ədəbiyyat siyahısı

1. V.T.Məmmədov, O.H.Mirzəyev Neft mədən texnikasının təmiri və bərpası. Dərslik. Bakı 2012. 284 s.
2. O.H.Mirzəyev Neft-qaz mədən avadanlıqlarının texniki diaqnostikas. Monoqrafiya. Bakı-2012. 155s.
3. Cənəhmədov Ə.X., Məmmədov V.T., Məmmədov H.V. Hacıyeva L.S. Kipləndirici düyünlər. ADNA, Bakı: Elm, 2011, 306 s.
4. Cavadov N.N., Məmmədov H.V. Mədən texnikasının kipləndirici manjetlərinin ilkin yüklənməsində gərginlikli vəziyyətin kipləndirmə effektinə təsirinin tədqiqi. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri, Beynəlxalq elmi-texniki jurnal. cild 3, №3. Bakı Azərbaycan Mühəndislər Akademiyası, 2011, s.30-36.
5. Hacıyeva L.S., Məmmədov H.V. Quyu kipləndiricisinin etibarlı kipləndirməsini təmin edən tədbirlərin işlənməsi. Azərbaycan Ali texniki Məktəblərin xəbərləri, cild 14, №3, 2012, Bakı: ADNA, səh.35-40.
6. Hacıyeva L.S. Paker quruluşlarının kipləndirici manjetlərinin texniki tənzimləmə problemləri. Məqalə. ADNA, Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri Cild 4, Bakı-2014



Metal Konstruksiyalarda Korroziyanın Mexaniki Dayanıqlığa Təsiri

Kənan Qəhrəmanov

BA proqramları, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan
qhrmanovknan9@gmail.com

Xülasə

Bu məqalədə metal konstruksiyalarda korroziya prosesinin mexaniki dayanıqlığa təsiri elmi baxımdan təhlil edilmişdir. Korroziya metallarda ətraf mühit amillərinin təsiri altında baş verən elektrokimyəvi və kimyəvi deqradasiya prosesi olub, materialın mikrostrukturunda dəyişikliklərə, səthi zədələnmələrə və kütlə itkisinə səbəb olur. Xüsusilə yüksək rütubət, duzlu mühit, temperatur dəyişmələri və aqressiv kimyəvi maddələr korroziya sürətini artıran əsas faktorlar hesab edilir.

Korroziya nəticəsində metal elementlərin effektiv kəşik sahəsi azalır, səthdə pitiq, çatlar və lokal deformasiyalar əmələ gəlir. Bu dəyişikliklər materialın dartılma möhkəmliyinin, yorulma dayanıqlığının və yükdaşıma qabiliyyətinin zəifləməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə konstruksiyanın etibarlılığı azalır, qəfil dağılma və istismar nasazlıqları riski yüksəlir. Xüsusilə körpülər, boru kəmərləri, sənaye qurğuları və daşıyıcı bina elementlərində korroziya mühəndislik təhlükəsizliyi baxımından ciddi problem yaradır.

Məqalədə korroziyanın qarşısının alınması üsulları da nəzərdən keçirilmişdir. Bunlara qoruyucu örtüklərin tətbiqi, korroziyaya davamlı ərintilərin seçilməsi, katodik mühafizə sistemləri və periodik texniki monitoring daxildir. Nəticə etibarilə, korroziyanın effektiv idarə olunması metal konstruksiyaların istismar müddətinin artırılması, texniki etibarlılığın təmin olunması və iqtisadi itkilərin minimuma endirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Korroziya, Metal konstruksiyalar, Mexaniki dayanıqlıq, Katodik mühafizə, Korroziyaya davamlılıq

Giriş

Müasir sənaye və tikinti sahələrində metal konstruksiyalar geniş tətbiq olunduğuna görə onların etibarlılığı və uzunömürlüliyü mühəndislik baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Körpülər, bina karkasları, boru kəmərləri, dəniz platformaları və müxtəlif sənaye avadanlıqları əsasən metal materiallardan hazırlandığı üçün bu konstruksiyaların istismar müddətində korroziya təsirinə məruz qalması qaçılmazdır. Korroziya metal səthində kimyəvi və elektrokimyəvi reaksiyalar nəticəsində yaranan deqradasiya prosesi olub, materialın mexaniki xassələrinin zəifləməsinə, daşıma qabiliyyətinin azalmasına və təhlükəsizlik risklərinin artmasına səbəb olur. Bu baxımdan metal konstruksiyalarda korroziyanın mexaniki dayanıqlığa təsirinə öyrənilməsi aktual və mühüm elmi-praktiki məsələdir.

Hazırda korroziyanın qarşısının alınması istiqamətində müxtəlif üsullar – qoruyucu örtüklər, katodik mühafizə sistemləri, korroziyaya davamlı ərintilər və monitoring texnologiyaları tətbiq edilməkdədir. Lakin buna baxmayaraq, bir çox sənaye obyektlərində vaxtından əvvəl zədələnmə, qəza halları və yüksək təmir xərcləri müşahidə olunur. Mövcud elmi ədəbiyyatda korroziyanın kimyəvi mahiyyəti geniş araşdırılsa da, onun metal konstruksiyaların mexaniki dayanıqlığına kompleks təsiri hələ də aktual tədqiqat istiqamətlərindən biri olaraq qalır. Bu isə mövzunun daha dərinlən araşdırılmasına ehtiyac yaradır.

Tədqiqat işinin əsas məqsədi korroziya prosesinin metal konstruksiyaların möhkəmliyinə, yorulma dayanıqlığına və ümumi istismar etibarlılığına təsirini təhlil etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün korroziyanın yaranma mexanizmi araşdırılmış, onun mexaniki xassələrə təsiri

qiymətləndirilmiş, mövcud qorunma üsulları müqayisə edilmiş və praktiki tətbiq imkanları nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiqat zamanı müqayisəli analiz, elmi ədəbiyyatın təhlili və mühəndis müşahidə metodlarından istifadə edilmişdir.

Tədqiqat işi giriş, əsas hissə, nəticə və istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Əsas hissədə korroziyanın nəzəri əsasları, metal konstruksiyalara təsiri, qorunma üsulları və praktiki nümunələr ardıcıl şəkildə təqdim edilmişdir. Nəticə hissəsində isə aparılmış araşdırmalar ümumiləşdirilmiş və müvafiq elmi-praktiki təkliflər irəli sürülmüşdür.

Tədqiqat metodu

Korroziya, metalların ətraf mühitlə reaksiyaya girərək arzuolunmaz şəkildə aşınması prosesidir. Əksər metallar təbiətdə filiz (məsələn, oksid və ya sulfid) şəklində tapılır. Biz onları emal edərək saf metal halına gətirdikdə, onlar yüksək enerji vəziyyətinə keçirlər. Korroziya əslində metalın yenidən öz təbii, aşağı enerjili və sabit halına (oksidləşmiş halına) qayıtma prosesidir.

Metalların korroziyası adətən elektrokimyəvi xarakter daşıyır. Bu o deməkdir ki, korroziya zamanı mütləq elektron axını baş verir. Bu proses iki əsas hissədən ibarətdir:

Anod Reaksiyası (Oksidləşmə): Metal atomları elektron itirərək ionlara çevrilir və maye (elektrolit) daxilində həll olur. Məhz bu hissədə metalın fiziki olaraq parçalanması və kütlə itkisi baş verir.

Katod Reaksiyası (Reduksiya): Anodda ayrılan elektronlar metalın daxili ilə hərəkət edərək katod sahəsinə gəlir və burada mühitdəki başqa ionlar (məsələn, hidrogen ionları və ya oksigen) tərəfindən qəbul edilir.

Korroziyanın Əsas Formaları:

Vahid (Uniform) Korroziya: Metalın bütün səthi boyu təxminən eyni sürətlə gedən aşınmadır. Hesablanması və proqnozlaşdırılması ən asan formadır.



Şəkil 1. Vahid (Uniform) Korroziya

Galvanik Korroziya: Bu növ korroziya iki fərqli metalın elektrolit mühitində (məsələn, rütubətli hava, dəniz suyu) bir-biri ilə elektrik təmasında olması nəticəsində yaranır.

Mexanizm: Metalların elektrod potensialları fərqli olduğu üçün aralarında "qalvanik cüt" yaranır. Bu zaman potensialı daha mənfi olan metal anod rolunu oynayır və sürətlə ionlaşaraq dağılır. Potensialı daha müsbət olan metal isə katod olur və qorunur.

Anod-Katod Sahəsi Faktoru: Əgər anodun (dağılan metalın) sahəsi katodun sahəsindən çox kiçikdirsə, korroziya sürəti kritik dərəcədə yüksək olur. Məsələn, mis lövhə üzərindəki polad pərçim çox qısa zamanda tamamilə sıradan çıxacaq.



Şəkil 2. Galvanik Koroziya

Pitting (Nöqtəvari) Koroziya Pitting, metalın səthində çox kiçik bir sahədə başlayan, lakin materialın daxilinə doğru sürətlə irəliləyən lokal dağılma növüdür.

Mexanizm: Adətən paslanmaz polad və ya alüminium kimi metalların səthindəki qoruyucu passiv oksid təbəqəsinin müəyyən bir nöqtədə zədələnməsi ilə başlayır. Xlorid ionları (Cl⁻) bu nöqtədə toplanaraq oksid təbəqəsini dağıdır. Həmin kiçik dəlik anod, ətrafındakı geniş və sağlam səth isə katod kimi davranır.

Təhlükəsi: Səthdə korroziya demək olar ki, görünməz qalır (çox kiçik nöqtələr şəklində), lakin daxildə materialın tamamilə dəşilməsinə, borularda sızmalara və qəfil qırılmalara səbəb olur.



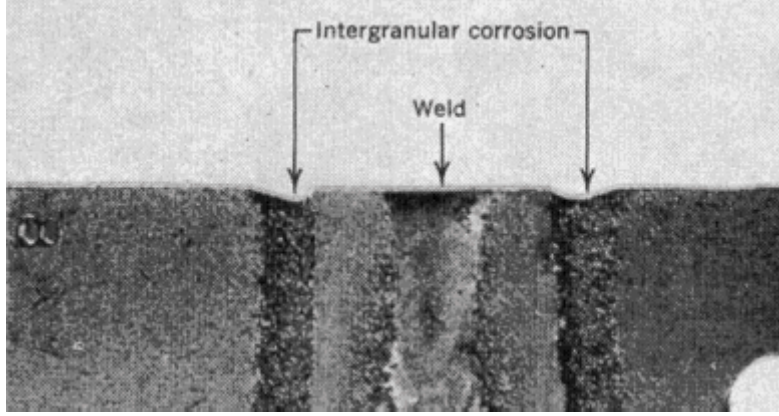
Şəkil 3. Pitting (Nöqtəvari) Koroziya

Yarıq Koroziyası: Boltların altı, contaların kənarları və ya metalın üst-üstə mindiyi dar yarıqlarda baş verir. Bu dar boşluqlarda oksigenin diffuziyası çətinləşir. Oksigen azlığı olan hissə anodlaşır və korroziya başlayır. Bu proses pitting ilə mexaniki cəhətdən oxşardır, lakin yarıq korroziyası üçün həndəsi bir boşluq tələb olunur.



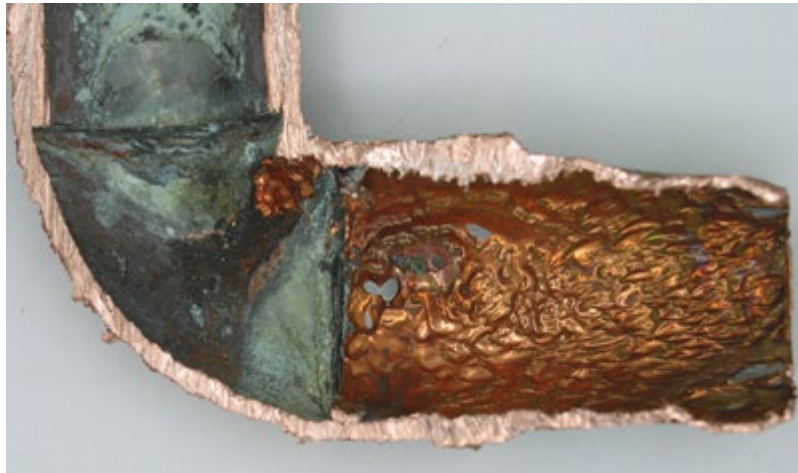
Şəkil 4. Yarıq Koroziya

Kristallararası (Intergranular) Korroziya: Bu metalın taxıl (dənəcik) sərhədləri boyu baş verən dağınıqdır. Xüsusilə paslanmaz poladların yanlış qaynaq edilməsi zamanı (təxminən 500-800°C temperaturda) xromun karbonla birləşərək karbidlər yaratması nəticəsində dənəcik sərhədlərində xromun miqdarı azalır. Bu, materialın "həssaslaşmasına" və strukturun daxildən çökməsinə gətirib çıxarır.



Şəkil 5. Kristallararası (Intergranular) Korroziya

Eroziya Korroziyası: Maye axınının yüksək sürəti və ya daxilindəki bərk hissəciklərin (qum və s.) metal səthinə sürtünməsi nəticəsində baş verir. Axın, metalın səthindəki qoruyucu təbəqəni daim soyub apardığı üçün korroziya sürəti bir neçə dəfə artır. Bu növə ən çox boru döngələrində (dirsəklərdə) və nasos pərlərində rast gəlinir.



Şəkil 6. Eroziya Korroziyası

Metalın qorunma üsulları:

Pasivləşmə (Passivity): Bəzi xüsusi metallar (məsələn, paslanmaz polad, alüminium, titan) hava ilə təmasda olan kimi səthlərində çox nazik, lakin çox möhkəm bir oksid təbəqəsi yaradırlar. Bu təbəqə baryer rolu oynayaraq metalın daxili hissələrinin korroziyaya uğramasına imkan vermir.

Katod Mühafizəsi (Cathodic Protection): Bu üsulda qorunacaq metal sistemin katodu halına gətirilir. İki yolu var:

1. *Qurbanlıq Anod*: Qorunacaq metala daha aktiv bir metal (məsələn, gəmilərin gövdəsinə sink bloklar) bərkidilir. Sink korroziyaya uğrayır, gəminin polad gövdəsi isə toxunulmaz qalır.
2. *Xarici Cərəyan*: Sistemə xarici bir enerji mənbəyindən əks istiqamətdə cərəyan verilir.

Inhibitorlar: Mühitə əlavə olunan xüsusi kimyəvi maddələrdir ki, onlar səthi "zireh" kimi örtərək reaksiyanın sürətini azaldırlar.

Riyazi ifadələr və qrafik materiallar

Koroziya Nüfuzetmə Sürəti (CPR):

$$CPR = KW / \rho A t \quad (1)$$

Burada W (Weight loss): Metalın sınaq müddətində itirdiyi çəki, ρ (Density): Metalın sıxlığı, A (Area): Metalın aşınmaya məruz qalan səth sahəsi, t (Time): Koroziyanın davam etmə müddəti, K (Constant): CPR-i istədiyimiz vahidlə (məsələn, ildə neçə millimetr aşınma) ifadə etmək üçün istifadə olunan sabit əmsal.

Koroziya Sürətinin Elektrik Cərəyanı ilə İfadəsi:

$$r = I / nF \quad (2)$$

Burada r (Rate): Koroziya sürəti, i (Current density): Vahid sahəyə düşən koroziya cərəyanı, n: Metalın ionlaşması zamanı itirdiyi elektronların sayı (valentlik), F (Faraday constant): Faradey sabiti (96,500 Kulon/mol).

Nəticə

Metalların kütlə itkisi və korroziya sürətinin (K) hesablanması göstərir ki, mühitin aqressivliyi və temperatur artımı korroziya prosesini eksponensial olaraq sürətləndirir. Xüsusilə dəniz suyu və sənaye atmosferi kimi xloridlərlə zəngin mühitlərdə paslanmaz poladlarda belə pitting korroziyası riskinin yüksək olduğu riyazi modellərlə təsdiq edilmişdir. Korroziya yalnız səthi bir qüsurlu deyil, materialın daxili strukturunu zəiflədən amildir. Kristallararası korroziya və gərginlik çatlaması materialın plastikliyini azaldaraq onu kövrək dağılmaya meyilli edir. Bu, konstruksiyanın yükdaşıma qabiliyyətinin (yield strength) gözlənilməz şəkildə aşağı düşməsinə səbəb olur. Tədqiqat göstərir ki, ən effektiv mühafizə strategiyası kombinə edilmiş üsulların tətbiqidir. Məsələn, sinkləmə (qalvanizasiya) həm fiziki baryer, həm də elektrokimyəvi anod mühafizəsi təmin edir. Eyni zamanda, layihələndirmə mərhələsində gərginlik konsentrasiyasını azaldan konstruktiv formaların seçilməsi korroziya mənsəli yorulma çatlarının qarşısını almaqda həlledici rol oynayır. Metal konstruksiyaların uzunömürlülüynün və istismar təhlükəsizliyinin təmin edilməsi kompleks mühəndislik tədbirləri tələb edir. Müasir təcrübə göstərir ki, korroziyaya qarşı mübarizədə yalnız passiv örtüklərlə (boya, lak, emal) kifayətlənmək strukturun tam mühafizəsi üçün yetərli deyil. Konstruksiyanın həyat dövrünü maksimallaşdırmaq üçün aktiv mühafizə sistemlərinə — xüsusilə korroziya inhibitorlarının tətbiqinə və müntəzəm monitoring proseslərinə üstünlük verilməlidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley. (Fundamental materialşünaslıq və korroziya prinsipləri üçün).
2. Fontana, M. G. (2005). *Corrosion Engineering*. Tata McGraw-Hill Education. (Korroziya növləri və mühəndislik həlləri üzrə əsas mənbə).
3. NACE International. *Standard Practice: Control of Corrosion on External Terrestrial Steel Piping Systems*. (Boru kəmərləri və sənaye konstruksiyalarının mühafizəsi üzrə beynəlxalq standartlar).
4. ISO 12944. *Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*. (Polad konstruksiyaların rənglənməsi və mühafizə dərəcələri üzrə beynəlxalq standart).
5. ASM International. (2003). *ASM Handbook, Volume 13A: Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. (Metalların korroziya dözümlülüynü üzrə geniş məlumat

bazası).

6. Jones, D. A. (1996). *Principles and Prevention of Corrosion*. Pearson. (Elektrokimyəvi korroziya hesablamaları və düsturlar üçün).
7. ASTM G48. *Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys*. (Pitting və yarıq korroziyasının laboratoriya sınaqları üçün).



Robototexniki Komplekslərin Tədqiqi Sahələrində Mövcud Diaqnostik Vasitələrin Təhlili

Lalə Quliyeva

Mühəndislik, Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan

lalequliyeva201@gmail.com

Xülasə

Robototexniki komplekslər müasir sənaye və xidmət sahələrinin əsas tərkib hissələrindən biridir və onların tətbiqi avtomatlaşdırma və texnologiyanın inkişafını təşviq edir. Bu komplekslər, mexaniki qurğular, sensor sistemləri, idarəetmə blokları və proqram təminatından ibarət mürəkkəb texniki sistemlərdir. Onların düzgün işləməsi üçün, nasazlıqların erkən aşkarlanması və qarşısının alınması vacibdir. Müasir diaqnostik vasitələr bu məqsədlə istifadə edilir və sistemlərin etibarlılığını artırır. Diaqnostika yalnız mövcud nasazlıqları aşkarlamaqla məhdudlaşmır, həm də potensial problemləri proqnozlaşdırmağa kömək edir. Sensor texnologiyaları, vibrasiya analizi, termal diaqnostika və akustik siqnal analizləri ilə robot sistemlərinin monitorinqi həyata keçirilir.

Süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmləri ilə dəstəklənən diaqnostika sistemləri, nasazlıqların proqnozlaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Bu yanaşmalar həm texniki xidmət xərclərini azaldır, həm də sistemlərin iş müddətini artırır. IoT və bulud texnologiyaları ilə məlumatların mərkəzləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması təmin edilir. Bununla yanaşı, kibertəhlükəsizlik və məlumatların etibarlılığı məsələləri diaqnostik proseslərdə qarşılaşılan problemlərdən biridir. Müasir təhlükəsizlik mexanizmləri və standartlaşdırılmış platformalar vasitəsilə bu problemlərin həlli vacibdir.

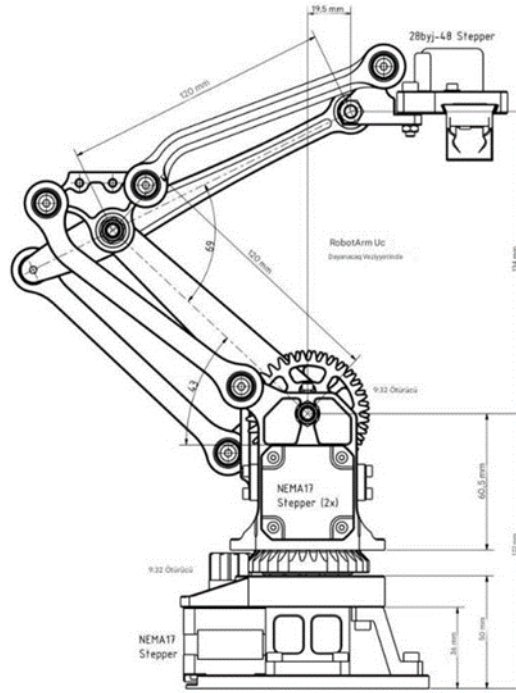
Açar sözlər: Robototexnika, Texniki, Diaqnostik Sistemlər, Avtomatlaşdırma

Giriş

Robototexniki komplekslər müasir sənaye, xidmət və elmi-tədqiqat sahələrində texnoloji inkişafın əsas istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir. Qloballaşma və rəqəmsallaşma proseslərinin sürətlənməsi nəticəsində istehsal və idarəetmə sistemlərində avtomatlaşdırma səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə artmış, bu isə robototexniki sistemlərin geniş tətbiqini zəruri etmişdir. Xüsusilə sənaye 4.0 konsepsiyası çərçivəsində robototexnika yalnız mexaniki əməliyyatların icrası ilə məhdudlaşmayaraq, süni intellekt, maşın öyrənməsi və məlumat analitikası kimi texnologiyalarla inteqrasiya olunmuş kompleks sistemlərə çevrilmişdir. Bu baxımdan, robototexniki komplekslərin funksionallığı, etibarlılığı və təhlükəsizliyi məsələləri xüsusi aktualıq kəsb edir. Robototexniki komplekslər müxtəlif komponentlərdən – mexaniki qurğular, sensor sistemləri, idarəetmə blokları və proqram təminatından ibarət mürəkkəb texniki sistemlərdir. Bu komponentlərin hər hansı birində baş verən nasazlıq ümumi sistemin fəaliyyətinə ciddi təsir göstərə bilər (Əliyev, R. Ə., & Məmmədov, T. H. 2021). Ona görə də bu cür sistemlərin fasiləsiz və effektiv işləməsini təmin etmək üçün müasir diaqnostik vasitələrin tətbiqi vacib şərtlərdən biridir.

Tədqiqat metodu

Diaqnostika, yalnız mövcud nasazlıqların aşkar edilməsi ilə məhdudlaşmır, həm də potensial problemlərin əvvəlcədən müəyyən edilməsi və qarşısının alınması baxımından mühüm rol oynayır. Bu isə proqnostik texniki xidmət yanaşmasının formalaşmasına səbəb olmuşdur.



Şəkil 1. Manipulyator Robotun Mexaniki Hissələri və Funksionallığı (Mənbə: <https://robodk.com/blog/5-core-parts-of-a-robotic-arm>)

Manipulyator robotun şəkli robototexniki komplekslərin mexaniki hissələrinin və komponentlərinin necə işlədiyini nümayiş etdirir. Şəkində göstərilən robot, sənaye və texniki sistemlərdə istifadə olunan robototexnika sistemlərinin vacib bir hissəsidir. Robotun əsas hissəsi olan motorlar və servo aktuatorlar hərəkət üçün güc mənbəyidir. Bu hissələr, robotun dönmə bucaqlarında və yerdəyişmələrində səhvlərin yaranma ehtimalını artıran komponentlərdir. Şəkində, robotun hər bir birləşmə nöqtəsi və hərəkət və sıfırlama funksiyası göstərilir. Sensor texnologiyaları, robotun vibrasiya analizi, temperatur ölçmə və hərəkət izləmə kimi parametrlərini təhlil edərək nasazlıqları gerçək zaman rejimində aşkarlamağa imkan verir. Bu, fuzzy logic və süni intellekt alqoritmləri ilə inteqrasiya olunmuş sistemlərin istifadə edildiyi bir yanaşmadır. Sensor sistemləri, robotun vibrasiya, istilik və akustik siqnal analizləri ilə əlaqəli olan hissələrini əks etdirir. Bu hissələr diaqnostik funksiyaları yerinə yetirmək üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir. Robototexniki komplekslərin etibarlılığı və funksionallığı yüksək olmalıdır (Valiyev, K. A., & Quliyev, S. M. 2022). Diaqnostika və proqnostik texniki xidmət yanaşmalarında manipulyator robotların iş prinsipinin analizi üçün bir sıra riyazi modellər və düsturlar tətbiq olunur. Bu düsturlar həm mexaniki hərəkətin modelləşdirilməsi, həm də nasazlıqların erkən aşkarlanması üçün əsas tədqiqat alətləri kimi çıxış edir. Manipulyator robotun kinematikasının təhlilində ən əsas yanaşmalardan biri birləşmələrin bucaq dəyişmələrinin ümumi mövqə ilə əlaqəsini ifadə edən funksional modeldir. Bu zaman robotun son effektorunun mövqeyi belə ifadə olunur:

$$x = f(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \quad (1)$$

Burada θ bucaqları hər bir oynaq nöqtəsinin vəziyyətini göstərir və sistemdəki hər hansı sapma mexaniki nasazlığın göstəricisi kimi qəbul olunur.

Dinamik analiz zamanı robotun hərəkəti Nyuton-Eyler yanaşması ilə qiymətləndirilir və momentlərin tarazlığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\tau = I\alpha + \omega \cdot (I\omega) \quad (2)$$

Burada τ moment, I ətalət matrisi, α bucaq sürətlənməsi, ω isə bucaq sürətidir. Bu model vasitəsilə mühərrik və aktuatorlarda yaranan yüklənmələr analiz edilir və normadan kənar hallar diaqnostik siqnal kimi qiymətləndirilir. Vibrasiya əsaslı diaqnostika üsullarında isə siqnalın enerjisi və dəyişməsi əsas göstərici kimi istifadə olunur. Vibrasiya siqnalının orta kvadrat qiyməti belə hesablanır:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (3)$$

Bu göstərici artdıqca sistemdə aşınma və balanssızlıq ehtimalı yüksəlir.

Temperatur əsaslı monitoringdə isə istilik yayılması və dəyişməsi aşağıdakı sadə istilik balansı ilə modelləşdirilir:

$$Q = mc\Delta T \quad (4)$$

Burada Q istilik enerjisi, m kütlə, c xüsusi istilik tutumu, ΔT isə temperatur dəyişməsidir. Motorlarda temperatur artımı nasazlığın ilkin göstəricilərindən biri hesab olunur.

Proqnostik texniki xidmət üçün isə statistik və süni intellekt əsaslı yanaşmalarda ehtimal modelləri istifadə edilir. Nasazlıq ehtimalının qiymətləndirilməsi üçün sadə ehtimal modeli belə ifadə oluna bilər:

$$P(\text{Failure}) = \frac{\text{Nasazlıq sayı}}{\text{Ümumi müşahidə sayı}} \quad (5)$$

Daha inkişaf etmiş yanaşmalarda isə maşın öyrənməsi modellərində itki funksiyası minimallaşdırılır:

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

Bu funksiya real və proqnozlaşdırılan nəticələr arasındakı fərqi ölçərək modelin dəqiqliyini artırır.

Nəticə

Aparılan təhlillər və tətbiq olunan riyazi modellər göstərir ki, manipulyator robotların diaqnostikası yalnız mövcud nasazlıqların aşkar edilməsi ilə məhdudlaşmamalı, sistemli şəkildə proqnostik texniki xidmət yanaşması ilə tamamlanmalıdır. Kinematik və dinamik modellər vasitəsilə hərəkət parametrlərində yaranan sapmaların erkən mərhələdə müəyyən edilməsi, vibrasiya və temperatur kimi fiziki göstəricilərin davamlı monitoringi isə nasazlıqların yaranma ehtimalını əvvəlcədən qiymətləndirməyə imkan verir. Sensor texnologiyaları ilə toplanan məlumatların süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmləri ilə emalı nəticəsində sistemdə gizli qanunauyğunluqlar aşkar olunur və bu da ənənəvi texniki xidmət yanaşmalarından daha yüksək dəqiqlik təmin edir. Belə inteqrasiya olunmuş diaqnostika modeli robototexniki komplekslərin etibarlılığını artırır, istismar müddətini uzadır və texniki xidmət xərclərini minimuma endirir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Əliyev, R. Ə., & Məmmədov, T. H. (2021). Robototexniki sistemlərdə diaqnostika və monitoring üsulları. Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri, 21(3), 45–52. <https://atutech.az>
2. Hüseynov, N. R. (2020). Sənaye robotlarının texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi

- metodları. Bakı: Elm nəşriyyatı. (156 səhifə)
3. Valiyev, K. A., & Quliyev, S. M. (2022). Ağıllı istehsal sistemlərində sensor texnologiyalarının rolu. *İnformasiya Texnologiyaları Problemləri*, 13(2), 78–86. <https://iitp.az>
 4. Lee, J., Bagheri, B., & Jin, C. (2016). Introduction to cyber manufacturing. *Manufacturing Letters*, 8, 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2016.01.003>
 5. Zhang, W., Yang, D., & Wang, H. (2019). Data-driven methods for predictive maintenance of industrial equipment: A survey. *IEEE Systems Journal*, 13(3), 2213–2227. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2905565>
 6. Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. P., Basto, J. P., & Alcalá, S. G. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>
 7. Yin, S., Ding, S. X., Xie, X., & Luo, H. (2014). A review on basic data-driven approaches for industrial process monitoring. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(11), 6418–6428. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2301773>



AzPOS dəstəqli CHCNAV GPS ilə inşaatda reper təyini və planalma

Səriyyə Xuduyeva^{1*}, Şəbnəm Məmmədova², Rəna Həsənova Baba-zadə³

^{1,2,3} Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S317639@karabakh.edu.az

Xülasə

Bu tezisdə qlobal mövqe təyinetmə sistemlərinin, xüsusilə GNSS texnologiyalarının, inşaat sahəsində rolu və tətbiq imkanları nəzərdən keçirilmişdir. Müasir tikinti işlərində koordinatların operativ və dəqiq müəyyənləşdirilməsi geodeziya təminatının əsas şərtlərindən biridir. Bu baxımdan peyk əsaslı ölçmə üsulları tikinti sahəsinin ilkin öyrənilməsi, reperlərin yaradılması, layihənin yerə köçürülməsi və planalma işlərinin aparılmasında mühüm əhəmiyyət daşıyır. İşin praktik hissəsində AzPOS ilə işləyən CHCNAV GNSS qəbuledicisi vasitəsilə kiçik həcmli tədris-praktik iş yerinə yetirilmişdir. Açıq səma şəraitinə malik sahədə dayanıqlı reper nöqtələri müəyyən edilmiş və ilkin koordinat məlumatları toplanmışdır. Praktiki işin məqsədi böyük həcmli mühəndis axtarışı aparmaq deyil, GNSS texnologiyasının inşaat-geodeziya işlərində funksional rolunu real nümunə üzərində göstərmək olmuşdur. Toplanmış ilkin məlumatlar göstərir ki, AzPOS dəstəqli GNSS ölçmələri açıq sahələrdə operativ koordinat alınmasına, reperlərin vahid sistemdə təyin edilməsinə və sonrakı planalma işləri üçün ilkin baza yaradılmasına imkan verir.

Açar sözlər: GNSS, AzPOS, CHCNAV, reper, planalma, inşaat geodeziyası

Giriş

Qlobal mövqe təyinetmə sistemləri müasir geodeziya və inşaat işlərinin ən vacib texnoloji vasitələrindən biri hesab olunur. GPS, GLONASS, Galileo və BeiDou kimi peyk sistemlərini birləşdirən GNSS yanaşması nöqtələrin koordinatlarının qısa müddətdə və yüksək dəqiqliklə təyin edilməsinə imkan verir. İnşaat sahəsində bu texnologiyaların tətbiqi tikinti meydançasının geodeziya əsaslandırılmasında, layihə elementlərinin yerə köçürülməsində və icra nəzarətində xüsusi əhəmiyyət daşıyır (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2008).

Ənənəvi ölçmə üsulları ilə müqayisədə GNSS texnologiyası geniş ərazilərdə daha çevik işləməyə, ölçülərin vahid koordinat sistemində bağlanmasına və nəticələrin rəqəmsal emalına şərait yaradır. Xüsusilə real vaxt korreksiyası ilə çalışan sistemlər inşaat mühəndisliyi üçün sahə işlərini xeyli sadələşdirir. Bununla belə, siqnalın maneələrlə zəiflədiyi mühitlərdə və çox dəqiq lokal bölgü işlərində digər geodeziya alətləri ilə birlikdə tətbiq olunması daha səmərəli olur (Özgen, 2019).

Tədqiqatın məqsədi qlobal mövqe təyinetmə sistemlərinin inşaatdakı rolunu qısa nəzəri çərçivədə izah etmək və AzPOS dəstəqli CHCNAV qəbuledicisi ilə yerinə yetirilmiş sadə praktik iş nümunəsində reper təyini və planalma ardıcılığını göstərməkdir. İşin praktiki əhəmiyyəti aparılmış ilkin ölçmələr əsasında GNSS texnologiyalarının real sahə şəraitində tətbiq imkanlarının göstərilməsindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

AzPOS geodeziya ölçmələrində koordinatların daha dəqiq alınmasına xidmət edən peyk əsaslı istinad sistemidir. Bu sistem müxtəlif peyk siqnallarını qəbul edir və emal olunmuş

korreksiya məlumatlarını istifadəçiyə ötürür. Nəticədə CHCNAV GNSS qəbuledicisi vasitəsilə inşaat sahəsində reper nöqtələrinin koordinatlarını daha operativ və etibarlı şəkildə müəyyən etmək mümkün olur (Ghilani & Wolf, 2020).

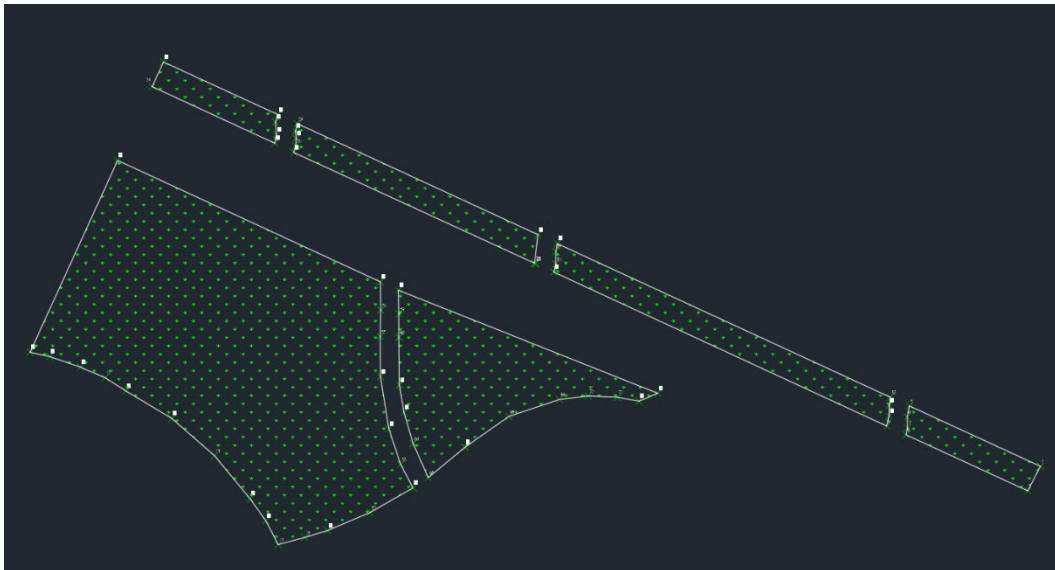
Praktiki iş kiçik həcmli tədris-sahə tapşırığı kimi yerinə yetirilmişdir. Sahədə peyk siqnallarının sabit qəbuluna uyğun, açıq səma görünüşünə malik nöqtələr seçilmiş və reper kimi qəbul edilmişdir. Daha sonra CHCNAV GNSS qəbuledicisi AzPOS korreksiya xidməti ilə işlədilərək həmin nöqtələrin koordinatları və yüksəklik göstəriciləri təyin olunmuşdur. Alınmış məlumatlar sonrakı emal və planalma işləri üçün ilkin geodeziya baza məlumatı kimi nəzərdə tutulur. Bu mərhələdə məqsəd tam miqyaslı mühəndis-geodeziya axtarışı aparmaq deyil, GNSS əsasında reper təyininin və planalma ardıcılığının praktik olaraq nümayiş etdirilməsi olmuşdur.

Cədvəl 1. Reper nöqtələri üzrə ilkin koordinat məlumatları

Nöqtə	Şərq (X)	Şimal (Y)	Hündürlük (Z)
Reper 1	650835.488	4409819.745	787.796
Reper 2	650970.512	4409740.153	788.770

Praktik iş zamanı koordinatların operativ alınması və nəticələrin rəqəmsal şəkildə qeydiyyatı GNSS üsulunun əsas üstünlükləri kimi qiymətləndirilmişdir. İnşaat təcrübəsində bu yanaşma ilkin sahə hazırlığında, geodeziya istinad nöqtələrinin yaradılmasında, torpaq işlərinin ümumi konturunun müəyyənləşdirilməsində və layihənin sahədə ilkin yerləşdirilməsində faydalıdır. AzPOS kimi daimi istinad stansiyası şəbəkələri real vaxt korreksiyası verdiyi üçün sahə ölçmələrinin səmərəliliyini artırır və koordinatların vahid sistemdə alınmasına kömək edir (Mütəllimov və b., 2016).

Reper nöqtələrinin təyindən sonra yaşıllıq sahəsi üzrə planalma nöqtələri toplanmış, AutoCAD proqramına köçürülmüş və emal edilərək qrafik təsviri hazırlanmışdır. Praktiki iş zamanı toplanmış planalma nöqtələrinin AutoCAD proqram mühitində emalı nəticəsində yaşıllıq sahəsinin konturu və daxili hissələri qrafik şəkildə əks etdirilmişdir. Alınmış bu qrafik material inşaat sahəsində geodeziya əsasının yaradılması, sahənin sərhədlərinin müəyyənləşdirilməsi və planalma işlərinin daha dəqiq təşkili üçün mühüm ilkin baza rolunu oynayır.



Şəkil 1. AzPOS dəstəklı CHCNAV GPS vasitəsilə yaşıllıq sahəsi üzrə planalma nöqtələrinin AutoCAD mühitində emal olunmuş qrafik təsviri

Şəkildə yaşıllıq sahəsi üzrə planalma nöqtələrinin emal olunmuş qrafik yerləşməsi göstərilmişdir. Bu məlumatlar inşaat sahəsində geodeziya əsasının yaradılması, sahənin sərhədlərinin və daxili konturlarının müəyyənləşdirilməsi, həmçinin planalma işlərinin daha dəqiq təşkili baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Eyni zamanda, emal olunmuş qrafik material sonrakı layihələndirmə və sahə üzrə qərarların verilməsi üçün etibarlı baza yaradır.

Nəticə

Aparılan nəzəri ümumiləşdirmə və kiçik həcmli praktik iş göstərir ki, qlobal mövqe təyinetmə sistemləri inşaat sahəsində operativ geodeziya təminatı üçün mühüm vasitədir. AzPOS dəstəklı CHCNAV qəbuledicisi ilə reper nöqtələrinin ilkin koordinatlarının təyini sahə işlərinin ardıcılığını sadələşdirmiş və məlumatların vahid sistemdə toplanmasına imkan vermişdir. Eyni zamanda, yaşıllıq sahəsi üzrə toplanmış planalma nöqtələrinin AutoCAD mühitində emalı nəticəsində sahənin qrafik təsviri əldə edilmişdir. Bu isə GNSS texnologiyalarının inşaat sahəsində yalnız koordinat təyini üçün deyil, həm də planalma və sahə konturlarının müəyyənləşdirilməsi üçün səmərəli tətbiq oluna biləcəyini göstərir. Beləliklə, GNSS müasir inşaat mühəndisliyində operativlik, dəqiqlik və rəqəmsal emal imkanları baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. A. M. Mütəllimov, S. A. Qəniyeva, P. Ç. Qaziyeva. (2016). Tətbiqi Geodeziya. Bakı, Xəzər Universitetinin Nəşriyyatı
2. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer.
3. Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2020). Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics.
4. M. Gündoğdu Özgen. (2019). Mühəndis və Mimarlar üçün Topoqrafiya (Ölçmə Bilgisi). İstanbul
5. Seeber, G. (2003). Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications (2nd ed.). Walter de Gruyter.



Süni İntellektlə Təchiz Olunmuş Mobil Robotların Naviqasiya Problemləri

Nurlan Rəsulzadə

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S303558@karabkh.edu.az

Xülasə

Mobil robotların naviqasiyası müasir robototexnikanın əsas problemlərindən biridir və sənayedən xidmət sektoruna qədər uzanan çoxsaylı tətbiqlərə malikdir. Bu məqalə mobil robot naviqasiyası strategiyalarını, ənənəvi qraf əsaslı yanaşmalardan müasir süni intellekt həllərinə qədər araşdırır. Bu məqalədə müxtəlif “Simultaneous Localization and Mapping” alqoritmlərinin performans müqayisəsi aparılmış və qraf optimallaşdırılmasına əsaslanan Karto əsaslı “Simultaneous Localization and Mapping” alqoritminin üstünlükləri izah edilmişdir. Bundan əlavə, “Large Language Model” alqoritmlərinin dinamik və naməlum mühitlərdə maneələrdən yayınaraq naviqasiya etmə qabiliyyəti, eləcə də bu alqoritmlərin nümunə səmərəsizliyi kimi məhdudiyətləri izah edilmişdir. Həmçinin, Böyük Dil Modellərinin semantik əmrləri yerinə yetirmə qabiliyyəti də araşdırılmışdır. Nəticələr göstərir ki, tək bir həll bütün problemləri həll edə bilməz və gələcək mobil robot naviqasiya sistemləri hibrid həllər əsasında layihələndirilməlidir.

Açar sözlər: Mobil robot naviqasiyası, Süni intellekt, SLAM alqoritmləri, Dərin Gücləndirici Öyrənmə (DRL), Böyük Dil Modelləri (LLM)

Giriş

Avtonom Mobil Robotlar sənaye avtomatlaşdırılması, səhiyyə, kənd təsərrüfatı və xidmət sahələri daxil olmaqla müxtəlif iş sahələrində insanlara kömək göstərməkdə getdikcə daha çox əhəmiyyət qazanır. Robotların bu mühitlərdə səmərəli fəaliyyəti onların naviqasiya qabiliyyətinə, yəni başlanğıc nöqtədən hədəfə maneəsiz və optimal yolla çatmaq bacarığına əsaslanır. Müasir dövrdə naviqasiya sistemləri sadəcə hərəkət etmək deyil, həm də ətraf mühiti qavramaq, qərar vermək və icra etmək kimi üç əsas fazanı özündə birləşdirən mürəkkəb bir prosesə çevrilmişdir. Xüsusilə, statik sənaye mühitlərindən insanların və digər robotların mövcud olduğu sıx və dinamik mühitlərə keçid, ənənəvi naviqasiya strategiyalarının yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri edir.

Mövcud naviqasiya metodları əsasən iki qrupa bölünür: ənənəvi (qraf və nümunə əsaslı) və öyrənmə əsaslı (süni intellekt) metodlar. A*, Dijkstra kimi ənənəvi metodlar statik və məlum mühitlərdə optimal yol tapsalar da, naməlum və dinamik mühitlərdə, xüsusilə sensor xətalrı və mürəkkəb maneələr qarşısında aciz qalırlar. Məsələn, Süni Potensial Sahə (APF) metodları robotun "local minimum" nöqtələrində ilişib qalmasına səbəb ola bilər. (3) Digər tərəfdən, Dərin Gücləndirici Öyrənmə (DRL) kimi müasir yanaşmalar robotlara sınaq-yanılma yolu ilə öyrənmək imkanı versə də, "nümunə səmərəsizliyi", yüksək hesablama tələbləri və simulyasyadan reallığa keçid zamanı yaranan uyğunsuzluqlarla üzləşirlər. (1) Həmçinin, Böyük Dil Modellərinin (LLM) naviqasiyaya tətbiqi semantik əmrlərin anlaşılması üçün yeni imkanlar yaratsa da, onların real vaxt rejimində tətbiqi yüksək resurs tələb edir.

Bu işinin əsas məqsədi mobil robotların naviqasiyası üçün istifadə olunan müxtəlif strategiyaları hərtərəfli təhlil etmək və onların səmərəliliyini qiymətləndirməkdir. Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif SLAM alqoritmlərinin xəritəçəkmə dəqiqliyi müqayisə edilmiş, DRL alqoritmlərinin dinamik maneələrdən yayınma performansını analiz edilmiş və LLM-lərin naviqasiya əmrlərini yerinə yetirmək üçün inteqrasiya imkanları araşdırılmışdır.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda mobil robotların naviqasiya problemlərini həll etmək üçün istifadə olunan metodlar beş əsas kateqoriyaya bölünərək sistemli şəkildə təhlil edilmişdir: Qraf əsaslı axtarış, Nümunə əsaslı, Qradient əsaslı, Bio-ilhamlı və Öyrənmə əsaslı metodlar.

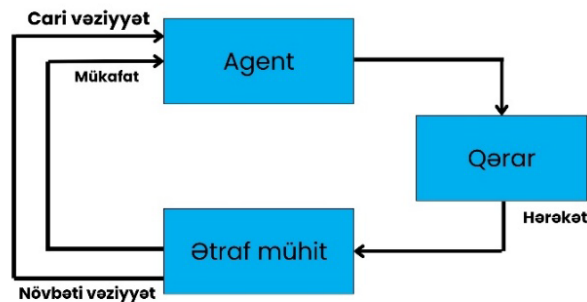
1. Ənənəvi Metodlar (Qraf və Nümunə Əsaslı): Bu kateqoriyada Dijkstra və A* kimi qraf əsaslı axtarış alqoritmləri təhlil edilmişdir. A* alqritmi evristik funksiya vasitəsilə axtarış sahəsini daraldaraq Dijkstra metoduna nisbətən daha sürətli nəticə verir, lakin dinamik mühitlərdə yenidən planlama zamanı gecikmələr yaşaya bilər. Nümunə əsaslı metodlardan RRT (Rapidly-exploring Random Tree) və PRM (Probabilistic Roadmap) yüksək ölçülü fəzalarda effektivdir, lakin tapılan yolun optimallığına zəmanət verilmir.(3)
2. SLAM Alqoritmlərinin Müqayisəli Təhlili: Robotun naməlum mühitdə öz yerini təyin etməsi və xəritə qurması üçün üç əsas 2D-SLAM alqritmi (Gmapping, Hector SLAM, Karto SLAM) ROS mühitində sınaqdan keçirilmişdir. Gmapping filtr əsaslıdır (RBPF) və böyük xəritələrdə yaddaş problemləri yaradır. Hector SLAM odometr tələb etmir, lakin yüksək tezlikli lidar tələb edir. Karto SLAM isə qraf optimallaşdırmasına əsaslanır və dövrə qapanması mexanizmi sayəsində ən yüksək dəqiqlik nümayiş etdirir.(4)
3. Öyrənmə Əsaslı Metodlar (DRL və LLM): Bu istiqamətdə Dərin Gücləndirici Öyrənmə (DRL) metodları olan DQN, DDQN və PPO tətbiq edilmişdir. DQN diskret hərəkətlər üçün effektiv olsa da, "aşırı qiymətləndirmə" problemi yaşayır; bu problemi həll etmək üçün DDQN istifadə edilmişdir. PPO isə siyasət (policy) əsaslı metod olaraq daha stabil öyrənmə təmin edir. Naviqasiya sistemlərində yaddaş problemini həll etmək üçün LSTM (Long Short-Term Memory) və GRU kimi təkrarlanan neyron şəbəkələri (RNN) DRL agentlərinə inteqrasiya edilmişdir.(1) Bundan əlavə, Böyük Dil Modellərinin (LLM) naviqasiyaya tətbiqi, xüsusilə təbii dildə verilən əmrlərin (məsələn, "mətbəxə get") icrası üçün 3P-LLM və DCIP kimi çərçivələr araşdırılmışdır.(3)

Dərin Q-Şəbəkəsi (DQN) alqritmində itki funksiyası aşağıdakı tənliklə ifadə edilir(2)

$$L(\theta_i) = F \left[\left(R + \lambda \max_{A'} Q(S', A'; \theta_i^-) - Q(S, A; \theta_i) \right)^2 \right]$$

Burada R mükafat, λ endirim əmsalı, Q isə fəaliyyət-dəyər funksiyasını təmsil edir.

Aşağıdakı diaqram DRL əsaslı naviqasiya prosesini təsvir edir. Robot mühitdən vəziyyət məlumatını alır, hərəkət seçir və mühitdən mükafat alır. (Şəkil 1)(2)



Şəkil 1. DRL əsaslı naviqasiya sistemində agent və mühit arasındakı qarşılıqlı əlaqə sxemi.

Nəticə

Aparılan tədqiqat və simulyasiya nəticələri göstərir ki, mobil robotların naviqasiyası üçün tək bir universal metod mövcud deyil, lakin müxtəlif yanaşmaların kombinasiyası ən yüksək səmərəliliyi təmin edir.

Simulyasiya və real mühit testləri nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Karto SLAM alqoritmi Gmapping və Hector SLAM ilə müqayisədə daha yüksək dəqiqlik nümayiş etdirir. Simulyasiya mühitində Karto SLAM-ın orta xətası 0.158 metr (nisbi xəta 1.22%), real mühitdə isə cəmi 0.019 metr olmuşdur.(4)

DRL metodlarının tətbiqi göstərmişdir ki, bu agentlər naməlum mühitlərdə xəritəsiz naviqasiya qabiliyyətinə malikdir. Simulyasiya nəticələrinə görə, Adam optimallaşdırıcısı ilə təlim edilmiş DRL agentləri, SGD və RMSprop ilə müqayisədə daha yüksək mükafat toplayaraq daha sürətli öyrənmə nümayiş etdirmişdir. (2) Lakin, DRL metodlarının tətbiqi zamanı "nümunə səmərəsizliyi" hələ də problem olaraq qalır.

Gələcək naviqasiya sistemləri üçün ən perspektivli həll yolu hibrid yanaşmalardır. Məsələn, qlobal planlama və xəritəçəkmə üçün Karto SLAM və A* kimi dəqiq həndəsi alqoritmlərin, yerli dinamik qərarlar, semantik anlayış və maneədən yayınma üçün isə DRL və ya LLM kimi süni intellekt modellərinin birləşdirilməsi təklif olunur

Ədəbiyyat siyahısı

1. Le, H., Saeedvand, S., & Hsu, C.-C. (2024). A Comprehensive Review of Mobile Robot Navigation Using Deep Reinforcement Learning Algorithms in Crowded Environments. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110:158. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02198-w>
2. Raj, R., & Kos, A. (2024). Intelligent mobile robot navigation in unknown and complex environment using reinforcement learning technique. *Scientific Reports*, 14, 22787. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72857-3>
3. Waga, A., Benhlima, S., Bekri, A., Abdouni, J., & Saber, F. Z. (2025). A survey on autonomous navigation for mobile robots: From traditional techniques to deep learning and large language models. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 37, 198. <https://doi.org/10.1007/s44443-025-00216-x>
4. Zhao, J., Liu, S., & Li, J. (2022). Research and Implementation of Autonomous Navigation for Mobile Robots Based on SLAM Algorithm under ROS. *Sensors*, 22(11), 4172. <https://doi.org/10.3390/s22114172>



Transformation of Programming in the Age of Artificial Intelligence: The Future of IT Education and the Developer Role

Elnur Mammadov

School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan

mammadov.elnur@gmail.com

Abstract

The rapid development of artificial intelligence is transforming the nature of programming, software engineering workflows, and the competencies expected from modern developers. Tasks such as code completion, bug detection, test generation, documentation, and system design support are increasingly assisted by AI-based tools, reducing the time required for routine operations and increasing development speed. This shift is changing the traditional role of programmers from primarily writing code manually to supervising, validating, integrating, and optimizing AI-assisted outputs. At the same time, the transformation creates new expectations in IT education, where conventional programming instruction alone is no longer sufficient for preparing students for the future labor market.

This study examines the impact of artificial intelligence on programming processes, analyzes the evolving role of developers, and explores how IT education should adapt to these changes. The research is based on analytical review, comparative evaluation of current educational approaches, and conceptual interpretation of emerging industry trends. The study highlights that future programmers will need not only coding skills but also strong competencies in algorithmic thinking, system design, prompt engineering, critical evaluation of machine-generated code, ethics, cybersecurity, and interdisciplinary collaboration.

The findings show that artificial intelligence will not eliminate the need for programmers, but it will significantly redefine their responsibilities. As a result, IT education must shift toward a model that integrates human creativity, computational thinking, and AI literacy. The study concludes that the programmer of the future will act more as a problem solver, system architect, and intelligent technology coordinator than as a traditional code writer.

Keywords: Artificial Intelligence, Programming Transformation, IT Education, Software Development, Future Developer

Introduction

The digital transformation of society has accelerated with the widespread adoption of artificial intelligence technologies. In software development, AI is no longer limited to a theoretical concept or a specialized research field; it has become an active component of everyday programming practice. Tools based on large language models and machine learning are now capable of generating code, suggesting algorithms, identifying bugs, producing documentation, and assisting in software testing. This technological shift has created a new stage in the evolution of programming and has made the topic highly relevant for both industry and academia.

The need for this research arises from the growing gap between traditional programming education and the new realities of AI-supported software development. Existing educational models often focus on syntax, language-specific exercises, and manual code production. However, modern software environments increasingly require developers who can work effectively with intelligent systems, evaluate machine-generated solutions, and design robust software architectures. This creates challenges for universities, training centers, and

policymakers who must redesign curricula to reflect the transformed expectations of the labor market.

In order to address this problem, the present study analyzes how artificial intelligence is reshaping programming processes, examines the changing role of developers, and evaluates the implications for IT education. The study explores the transition from traditional coding-centered development to AI-augmented engineering practice, where human expertise shifts toward supervision, validation, and strategic decision-making.

The structure of this paper is organized as follows. First, the research method and analytical framework are presented. Next, the main dimensions of transformation in programming and IT education are discussed. Finally, the paper summarizes the main findings and presents conclusions about the future model of the programmer in the age of artificial intelligence.

Research Method

This study applies a qualitative and analytical research method based on conceptual review and comparative interpretation of current technological and educational developments. The research relies on three main components. First, the programming process is examined in the context of artificial intelligence integration, focusing on code generation, debugging, testing, and documentation support. Second, the developer role is analyzed comparatively in terms of traditional and AI-assisted software engineering tasks. Third, the study evaluates the implications of these transformations for IT education and curriculum design.

The materials of the study consist of recent conceptual discussions in software engineering, digital education practices, and industrial trends related to AI-assisted development environments. Rather than focusing on a single experiment, the paper synthesizes multiple practical observations and theoretical perspectives to identify common patterns and future directions.

The analytical framework is built around three dimensions:

1. Technological dimension – how AI changes the software development lifecycle;
2. Professional dimension – how the responsibilities and competencies of developers evolve;
3. Educational dimension – how institutions should redesign IT education to prepare students for this new environment.

Conclusion

To clarify the transformation process, the following conceptual relation can be presented:

$$\textit{Programming_future} = \textit{Human Expertise} + \textit{AI Assistance} + \textit{Critical Evaluation} \quad (1)$$

This expression shows that future programming is not based solely on human coding effort or autonomous AI generation, but on the interaction between human knowledge, intelligent tools, and evaluation skills.

A simplified transformation model is shown below:

Traditional model:

$$\textit{Problem definition} \rightarrow \textit{Manual coding} \rightarrow \textit{Debugging} \rightarrow \textit{Testing} \rightarrow \textit{Deployment}$$

AI-supported model:

$$\textit{Problem definition} \rightarrow \textit{Prompt/design instruction} \rightarrow \textit{AI-generated draft} \rightarrow \\ \textit{Human review and refinement} \rightarrow \textit{Testing and validation} \rightarrow \textit{Deployment}$$

This comparison demonstrates that AI reduces routine implementation effort while increasing the importance of reasoning, verification, and system-level thinking.

In addition, the study identifies several observable trends in practice:

- Increased automation of repetitive coding tasks;
- Higher productivity in prototyping and debugging;
- Greater importance of software verification and ethical responsibility;
- Rising demand for AI literacy in technical education.

These findings are used as the basis for interpreting the future programmer model and proposing directions for educational adaptation.

The analysis shows that artificial intelligence is transforming programming in several fundamental ways. First, AI significantly accelerates routine software development tasks. Developers can now generate code templates, automate repetitive functions, receive instant suggestions, and identify potential errors more quickly than in conventional development settings. As a result, productivity increases, especially in prototyping, documentation, and debugging stages.

Second, the developer’s role is moving away from being limited to writing syntax manually. Instead, developers increasingly act as supervisors of machine-generated outputs. This requires them to define problems clearly, formulate precise instructions, assess the quality of AI-produced code, and ensure that the final software meets performance, security, and ethical standards. In this model, responsibility remains human-centered, even when implementation becomes AI-assisted.

Third, the transformation affects the skill profile expected from programmers. Traditional competencies such as programming language knowledge, algorithms, and data structures remain important, but they are no longer sufficient on their own. Future developers must also master prompt formulation, code review, model-assisted debugging, systems thinking, collaboration with intelligent tools, and awareness of AI limitations. The ability to question the correctness, bias, and security of generated code becomes especially important.

A major implication of these changes concerns IT education. Educational institutions must revise curricula so that students are not only trained to code, but also prepared to work in hybrid human–AI environments. This means that courses should integrate AI-supported development tools into the learning process while continuing to build strong foundations in logic, algorithmic thinking, software design, and ethics. Students should learn not only how to produce code, but also how to validate it, improve it, and understand its broader technical and social consequences.

The results further suggest that the future programmer will be defined less by the amount of code written manually and more by the capacity to solve complex problems, design reliable systems, and cooperate effectively with AI systems. Therefore, programming education should move from a narrow coding-centered approach to a broader competence-centered model.

This study examined the transformation of programming in the age of artificial intelligence and evaluated its implications for the future of the developer role and IT education. The findings indicate that AI is reshaping software development by automating repetitive tasks, accelerating workflows, and changing the balance between manual coding and intelligent assistance.

The main achievement of this transformation is the emergence of a new developer model. Future programmers will not disappear; rather, they will become more strategic, analytical, and interdisciplinary professionals. Their work will focus more on problem formulation, validation of AI-generated outputs, system architecture, ethical responsibility, and human-centered decision-making.

The study also demonstrates that IT education must adapt quickly to this new reality. Educational programs should combine classical computing foundations with AI literacy, critical thinking, practical tool use, and ethical awareness. Such adaptation is necessary to prepare

graduates for a labor market in which human developers and intelligent systems increasingly work together.

In conclusion, the age of artificial intelligence does not reduce the importance of programming; instead, it redefines its form, purpose, and required competencies. The programmer of the future will be a creator, evaluator, and coordinator of intelligent digital systems.

References

1. Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E., Kamar, E., Lee, P., Lee, Y. T., Li, Y., Lundberg, S., Nori, H., Palangi, H., Ribeiro, M. T., & Zhang, Y. (2023). Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with GPT-4. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2303.12712>
2. Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Pinto, H. P. d. O., Kaplan, J., Edwards, H., Burda, Y., Joseph, N., Brockman, G., Ray, A., Puri, R., Krueger, G., Petrov, M., Khlaaf, H., Sastry, G., Mishkin, P., Chan, B., Gray, S., ... Zaremba, W. (2021). Evaluating large language models trained on code. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2107.03374>
3. Finnie-Ansley, J., Denny, P., Becker, B. A., Luxton-Reilly, A., & Prather, J. (2022). The robots are coming: Exploring the implications of OpenAI Codex on introductory programming. Proceedings of the 24th Australasian Computing Education Conference, 10–19. <https://doi.org/10.1145/3511861.3511863>
4. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeiffer, F., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
5. Vaithilingam, P., Zhang, T., & Glassman, E. L. (2022). Expectation vs. experience: Evaluating the usability of code generation tools powered by large language models. Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Article 544, 1–20. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517669>



Elektron Sənəd Sistemlərində Məlumat Emalının Səmərəliliyi

Elmira Xəlilova

Mühəndislik fakültəsi, Mingəçevir Dövlət Universiteti, Mingəçevir, Azərbaycan
elmira.xalilova.itm24@mdu.edu.az

Xülasə

Müasir rəqəmsal idarəetmə mühitində elektron sənəd sistemləri təşkilatlarda informasiya axınının tənzimlənməsi, sənədlərin operativ emalı, saxlanması və idarə olunması baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyi məsələsi araşdırılmış, bu səmərəliliyə təsir edən əsas texniki və istifadəçi yönümlü amillər təhlil edilmişdir. Mövzunun aktuallığı onunla bağlıdır ki, rəqəmsallaşma şəraitində sənəd dövriyyəsinin sürəti və keyfiyyəti təşkilati fəaliyyətin ümumi nəticəliliyinə birbaşa təsir göstərir.

Tədqiqat zamanı elektron sənəd sistemlərinin funksional xüsusiyyətləri, məlumat emalı mərhələləri və istifadəçi davranışları nəzəri və tətbiqi baxımdan nəzərdən keçirilmişdir. Araşdırmada müqayisəli təhlil, sistemli yanaşma, müşahidə və istifadəçi yönümlü qiymətləndirmə metodlarından istifadə olunmuşdur. Sənədin yaradılması, qeydiyyatı, axtarışı, marşrutlaşdırılması və arxivləşdirilməsi kimi proseslər əsasında məlumat emalının sürətinə və rahatlığına təsir edən amillər müəyyən edilmişdir. Həmçinin əməliyyat addımlarının sayı, tapşırığın yerinə yetirilmə müddəti, səhv halları və istifadə rahatlığı kimi göstəricilər üzrə ümumi elmi yanaşmalar ümumiləşdirilmişdir.

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyi sistemin texniki imkanları ilə yanaşı, onun istifadəçi üçün sadə, aydın və məntiqi qurulmasından da asılıdır. İnterfeysin sadələşdirilməsi, axtarış mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və sənəd marşrutlarının optimallaşdırılması məlumat emalının sürətlənməsinə və idarəetmə keyfiyyətinin yüksəlməsinə şərait yaradır. Məqalə elektron sənəd sistemlərinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində nəzəri və praktik əsaslar təqdim edir.

***Açar sözlər:** elektron sənəd sistemləri, məlumat emalı, səmərəlilik, istifadəçi təcrübəsi, rəqəmsal idarəetmə*

Giriş

Elektron sənəd sistemləri müasir idarəetmə və informasiya mühitində sənədlərin yaradılması, qeydiyyatı, ötürülməsi, saxlanması, axtarışı və icrasına nəzarətin təmin olunmasında mühüm rol oynayan rəqəmsal alətlərdən biridir. Təşkilatlarda informasiya axınının sürətlənməsi, idarəetmə qərarlarının daha operativ qəbul edilməsi və sənəd dövriyyəsinin optimallaşdırılması baxımından bu sistemlərin tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə rəqəmsallaşmanın geniş vüsət aldığı şəraitdə elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyi həm idarəetmə keyfiyyətinin, həm də əmək məhsuldarlığının yüksəldilməsində vacib amil kimi çıxış edir. Bu baxımdan seçilmiş mövzu aktual olmaqla yanaşı, praktik və elmi əhəmiyyətə də malikdir.

Hazırda müxtəlif müəssisə və təşkilatlarda elektron sənəd sistemlərinin tətbiqi genişlənsə də, bu sahədə hələ də bir sıra problemlər mövcuddur. Belə ki, bəzi hallarda sistemlərin funksional imkanları yüksək olsa da, istifadəçi interfeysinin mürəkkəbliyi, məlumatların axtarış və emal prosesində vaxt itkisi, sistemlərarası inteqrasiya zəifliyi, habelə istifadəçi davranışlarının kifayət qədər öyrənilməməsi ümumi səmərəliliyi aşağı salır (Jordan, 2022).

Elmi ədəbiyyatda elektron sənəd dövriyyəsi, rəqəmsal idarəetmə, istifadəçi təcrübəsi və informasiya sistemlərinin effektivliyi ilə bağlı müxtəlif yanaşmalar mövcuddur. Lakin elektron

sənəd sistemlərində məhz məlumat emalının səmərəliliyi ilə istifadəçi amilləri arasındakı əlaqənin kompleks şəkildə araşdırılması bu sahədə əlavə tədqiqata ehtiyac yaradır. Buna görə də tədqiqat işində elektron sənəd sistemlərinin istifadəsi zamanı məlumat emalı prosesinin sürətinə və keyfiyyətinə təsir edən əsas amillərin öyrənilməsi zəruri hesab edilir.

Tədqiqat işinin əsas məqsədi elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyini müəyyən edən amilləri təhlil etmək və bu istiqamətdə təkmilləşdirmə imkanlarını araşdırmaqdan ibarətdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün elektron sənəd sistemlərinin mahiyyəti və funksional xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilir, məlumat emalı prosesinin təşkilatı və texnoloji tərəfləri araşdırılır, istifadəçi təcrübəsinin bu prosesə təsiri qiymətləndirilir və mövcud problemlərin aradan qaldırılması istiqamətində elmi-praktik yanaşmalar irəli sürülür. Tədqiqat zamanı sistemli yanaşma, müqayisəli təhlil, müşahidə, təsviri ümumiləşdirmə və nəzəri təhlil metodlarından istifadə olunması nəzərdə tutulur. İşin elmi yeniliyi elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyinin yalnız texniki baxımdan deyil, həm də istifadəçi yönümlü yanaşma əsasında qiymətləndirilməsi ilə bağlıdır. Praktiki əhəmiyyəti isə tədqiqat nəticələrinin elektron sənəd sistemlərinin təkmilləşdirilməsi, istifadə rahatlığının artırılması və idarəetmə proseslərində vaxt itkisinin azaldılması üçün tətbiq imkanları ilə müəyyən olunur.

Tədqiqat işi giriş, tədqiqat metodu, nəticə və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Giriş hissəsində mövzunun aktuallığı, tədqiqatın məqsədi, vəzifələri, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti və metodoloji əsasları təqdim olunur. Tədqiqat metodu hissəsində istifadə olunan yanaşmalar və araşdırma üsulları izah edilir. Nəticə hissəsində isə aparılan təhlil ümumiləşdirilir, əsas elmi nəticələr və təkliflər formalaşdırılır.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat işində elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyinə təsir göstərən amillərin müəyyənəşdirilməsi üçün nəzəri təhlil, müqayisəli yanaşma, müşahidə və istifadəçi yönümlü qiymətləndirmə metodlarından istifadə edilmişdir. Metodoloji əsas kimi elektron informasiya sistemlərinin istifadəyə yararlılığı və səmərəliliyinin qiymətləndirilməsinə dair yanaşmalar götürülmüşdür. Xüsusilə istifadə yararlılığı anlayışının effektivlik, səmərəlilik və məmnunluq komponentləri ilə izah edilməsi bu tədqiqatın metod seçiminə əsas vermişdir.

Tədqiqatın material bazasını elektron sənəd sistemlərinin funksional xüsusiyyətləri, sənədin daxil edilməsi, qeydiyyatı, axtarışı, yönləndirilməsi, təsdiqi və arxivləşdirilməsi mərhələləri üzrə elmi mənbələr, normativ yanaşmalar və rəqəmsal sənəd idarəetməsi ilə bağlı müasir tədqiqatlar təşkil etmişdir. Bununla yanaşı, elektron sənəd sistemində istifadəçi davranışını qiymətləndirmək üçün əməliyyat ardıcılığı əsasında ssenari yanaşması tətbiq olunmuşdur. Bu yanaşmada istifadəçinin sistemdə müəyyən tapşırıqları yerinə yetirməsi, məsələn sənədin yaradılması, açar söz üzrə axtarılması, aidiyyəti icraçıya göndərilməsi və yekun statusunun izlənilməsi kimi tipik əməliyyatlar təhlil vahidi kimi götürülmüşdür.

Aparılmış tədqiqat çərçivəsində məlumat toplama və təhlil prosesi bir neçə mərhələdə qurulmuşdur. Birinci mərhələdə mövzu üzrə elmi ədəbiyyat araşdırılmış, elektron sənəd sistemlərinin səmərəliliyi və istifadəçi təcrübəsi ilə bağlı nəzəri yanaşmalar sistemləşdirilmişdir. İkinci mərhələdə istifadəçi fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi üçün göstəricilər müəyyənəşdirilmişdir. Bu göstəricilərə tapşırığın icra müddəti, əməliyyat addımlarının sayı, səhv hallarının tezliyi, tapşırığın tamamlanma səviyyəsi və istifadəçi rahatlığı üzrə müşahidə indikatorları daxil edilmişdir. İstifadəyə yararlılıq tədqiqatlarında məhz vaxt, uğur faizi, səhv göstəricisi və subyektiv qiymətləndirmələrin əsas ölçü vahidləri kimi götürülməsi geniş qəbul olunur.

Nəticə

Aparılmış tədqiqat göstərir ki, elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyi sistemin istifadəçi üçün nə dərəcədə anlaşılın, ardıcıl və funksional qurulması ilə müəyyən olunur. Elektron sənəd mühitində sənədin yaradılması, qeydiyyatı, axtarışı, marşrutlaşdırılması və arxivləşdirilməsi kimi mərhələlərin vahid məntiq üzrə təşkili məlumat

axınının nizamlı idarə olunmasına imkan verir. İstifadəyə yararlılıq üzrə beynəlxalq yanaşmalar da göstərir ki, səmərəlilik, effektivlik və istifadəçi məmnunluğu bir-biri ilə sıx bağlı göstəricilərdir və informasiya sistemlərinin real nəticəliliyi məhz bu komponentlərin vəhdətində formalaşır (Aliazas, 2024).

Tədqiqat çərçivəsində nəzərdən keçirilən materiallar və proses modelləri əsasında müəyyən edilmişdir ki, elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının sürətlənməsi üçün əsas üstünlüklər əməliyyat addımlarının azaldılması, təkrarlanan prosedurların sadələşdirilməsi, axtarış və filtrləmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi, həmçinin sənəd marşrutlarının daha aydın qurulması ilə bağlıdır. Bu baxımdan sistemin funksiyalarının istifadəçi üçün intuitiv və ardıcıl təqdim edilməsi daha mühüm amil kimi çıxış edir. Rəqəmsal idarəetmə və sənəd dövriyyəsi üzrə müasir tədqiqatlar da insan mərkəzli və istifadəçi yönümlü yanaşmaların məhsuldarlığın yüksəlməsinə, proses itkilərinin azalmasına və idarəetmə əməliyyatlarının daha koordinasiya icrasına şərait yaratdığını göstərir (Johnston & Bowen, 2005).

Cədvəl 1. Elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyinə təsir edən əsas amillər

Göstərici	Təsviri	Məlumat emalına təsiri
İnterfeysin sadəliyi	Menyu və funksiyaların aydın və anlaşılan qurulması	Əməliyyat vaxtını azaldır
Axtarış mexanizmi	Sənədlərin açar söz, tarix və kateqoriya üzrə tapılması	Məlumatın əldə olunmasını sürətləndirir
Avtomatlaşdırma səviyyəsi	Qeydiyyat, yönləndirmə və bildirişlərin avtomatik icrası	Əl əməyini və təkrarlanan addımları azaldır
İnteqrasiya imkanları	Digər informasiya sistemləri ilə əlaqə	Məlumat itkisini və təkrar daxil etməni azaldır
İstifadəçi hazırlığı	Sistemdən istifadə üzrə bilik və vərdiş səviyyəsi	Səhv hallarını azaldır, operativliyi artırır

Əldə edilmiş elmi nəticələrdən biri odur ki, elektron sənəd sistemlərində səmərəlilik göstəricilərinin qiymətləndirilməsi üçün tapşırıqın icra müddəti, addımların sayı, səhv tezliyi və tapşırıqın tamamlanma səviyyəsi kimi indikatorlar praktik baxımdan daha uyğun hesab edilə bilər. Bu göstəricilər vasitəsilə sistemin hansı mərhələlərində gecikmə, yüklənmə və ya istifadəçi üçün çətinlik yarandığını izləmək mümkün olur. Usability tədqiqatlarında da məhz vaxt, səhv və tamamlanma göstəricilərinin əsas ölçmə meyarları kimi tətbiq olunması bu yanaşmanın elmi əsaslı olduğunu təsdiqləyir (Cho, 2008).

Tədqiqat işinin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, elektron sənəd sistemlərində məlumat emalının səmərəliliyi ayrıca texnoloji problem kimi deyil, istifadəçi davranışı, sistem məntiqi və iş axınının təşkilati quruluşu ilə əlaqəli şəkildə nəzərdən keçirilmişdir. Bu yanaşma mövzunun daha obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir. İşin praktiki əhəmiyyəti isə ondan ibarətdir ki, burada irəli sürülən yanaşmalar elektron sənəd sistemlərinin yenidən qurulması, istifadəçi interfeysinin sadələşdirilməsi, daxili sənəd marşrutlarının optimallaşdırılması və təşkilatlarda rəqəmsal sənəd idarəçiliyinin daha məhsuldar formada təşkili üçün tətbiq oluna bilər (Anggraini, 2024). Bu mənada tədqiqat nəticələri həm elmi-nəzəri, həm də tətbiqi baxımdan faydalı hesab edilə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aliazas, J. V., Dela Cruz, R. A., & Ilagan, N. (2024). Enhancing university operations: A study of the electronic document management systems (EDMS) of one higher education institution. *TWIST*, 19(3), 229–237. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10049652>
2. Anggraini, D., Adi, K., & Suseno, J. E. (2024). Electronic document management systems implementation across industries: Systematic analysis. *Indonesian Journal of Electrical*

- Engineering and Computer Science*, 36(1), 264–273. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v36.i1.pp264-273>
3. Cho, V. (2008). A study of the effectiveness of electronic document management systems. *International Journal of Information Technology and Management*, 7(3), 327–352. <https://doi.org/10.1504/IJITM.2008.017608>
 4. Johnston, G. P., & Bowen, D. V. (2005). The benefits of electronic records management systems: A general review of published and some unpublished cases. *Records Management Journal*, 15(3), 131–140. <https://doi.org/10.1108/09565690510632319>
 5. Jordan, S., Sternad Zabukovšek, S., & Šišovska Klančnik, I. (2022). Document management system – A way to digital transformation. *Naše Gospodarstvo/Our Economy*, 68(2), 43–54. <https://doi.org/10.2478/ngoe>



Tədrisin Rəqəmsallaşdırılması və “Ağıllı Kampus” Konsepsiyası

Ülkər Veyisova^{1*}, Günel Fərzəlizadə², Aysel Fərzəlizadə³

¹²İKTf, Azərbaycan Universiteti, Bakı, Azərbaycan

³İT, Xəzər Universiteti, Bakı, Azərbaycan

ulkrveyisova@gmail.com

Xülasə

Bu məqalədə tədrisdə baş verən mühüm dəyişikliklərdən və ən əsas ağıllı kampusdan bəhs edilir. Ənənəvi təhsil modelləri daha sürətli, əlçatan və effektiv formaya keçmişdir. Bütün bunların nəticəsində isə ümumi tədris prosesləri rəqəmsallaşdırılıb. Tələbələr onlayn platformalar, virtual siniflər və süni intellekt tətbiqləri nəticəsində fərdi öyrənmə imkanı əldə edirlər. Eyni zamanda bu texnologiyalar müəllimlər üçün də tədrisi daha səmərəli təşkil etməyə və tələblərin nəticələrini eyni vaxtda izləməyə şərait yaradır. “Ağıllı kampus” texnologiyalar vasitəsilə təhsil mühitini daha effektiv və əlçatan edir.

Açar sözlər: Ağıllı Kampus, Təhsil Modeli, Platforma, Tədris Prosesi, Müəllim

Giriş

Son zamanlar informasiya və kommunikasiyada baş verən sürətli inkişaf təhsil sistemində mühim köklü dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Baş verən dəyişikliklər nəticəsində ənənəvi təhsil modelləri sürətlənərək daha çevik, əlçatan və effektiv öyrənmə mühitinə çevrilmişdir. Dəyişikliklər təkcə tədrisin materiallarının elektron formata keçirilməsi ilə məhdudlaşmır. Bununla yanaşı, həm də təhsilin idarə olunması, qiymətləndirilməsi və buna bənzər əlaqələrin yeni səviyyəyə yüksəldilməsini əhatə edir.

Rəqəmsallaşdırılmış təhsil mühitində onlayn platformalar, virtual sinif otaqları, zəngin resurslar mövcuddur. Ən əsası isə son zamanlarda hamının daha çox istifadə etdiyi süni intellekt proqramlarında geniş tətbiq edilir. Bu yanaşma tələbələrə fərdi öyrənmə imkanları təqdim edir. Nəticədə onların bilik və bacarıqlarının öz tempində inkişaf edib təkmilləşməsinə şərait yaradır.

Tələbələrdən əlavə olaraq eyni zamanda müəllimlər üçün də tədris prosesinin daha səmərəli, effektiv olmasına imkan verir. Bunun nəticəsində tələbələrin nailiyyətlərinin real vaxtda sürətli şəkildə görmək olur.

Bu kontekstdə “ağıllı kampus” konsepsiyası xüsusi bir dəyəri özündə saxlayır. Ağıllı kampus-texnologiyalar vasitəsi ilə universitet quruluşunun, idarəetmə sistemlərinin inkişafını nəzərdə tutur. Buraya enerji idarəetməsi, ağıllı təhlükəsizlik sistemləri, rəqəmsal kitabxanalar, İoT əsaslı həllər və mobil tətbiqlər daxildir. Bu cür kampuslar universitet, habelə müəllimlər və tələbələr üçün daha rahat, sürətli, effektiv və təhlükəsizdir.

Ağıllı kampus konsepsiyasının əsas üstünlüklərindən biri resursların optimal şəkildə idarə olunmasıdır. Məsələn: enerji sərfiyyatının avtomatik tənzimlənməsi, auditoriyaların effektiv istifadəsi və nəqliyyat sistemlərinin optimallaşdırılması həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan mühüm faydalar təmin edir. Bundan əlavə olaraq, rəqəmsal identifikasiya sistemləri və vahid platformalar vasitəsilə kampus daxilində bütün xidmətlərə sürətli çıxış mümkün olur.

Tədqiqat metodu

Əsas məlumat mənbələri kimi elmi məqalələr, dərsliklər, internet resursları və rəqəmsal təhsil sahəsinə aid tədqiqat işləri seçilib. Mövzu üzrə ədəbiyyat siyahısı geniş şəkildə araşdırılıb. İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının təhsil sistemində təsiri,

rəqəmsallaşma prosesi və “ağıllı kampus” konsepsiyası haqqında məlumatlar bir araya gətirilib. Qeyd edim ki, ağıllı kampa misal olaraq Microsoft Teams və Google Classroom proqramını deyə bilərik. Google Classroomda mövcud olan virtual sinif otaqları şagird və müəllimlər arasında materiallarının daha sürətli tapılması, dərslərin keyfiyyətli keçirilməsinə şərait yaradır. Microsoft Teams proqramında onlayn tədrisin həyata keçirilməsində böyük rol vardır.

Tədqiqat zamanı təsviri və müqayisəli analiz metodlarından istifadə olunmuşdur. Toplanmış məlumatlar təhlil edilərək ənənəvi təhsil modeli ilə təkmilləşmiş yəni, rəqəmsallaşmış təhsil modeli arasında fərqlər müəyyən edilmişdir. Əlavə olaraq ağıllı kampusların üstünlükləri analiz edilib qiymətləndirilmişdir.

Nəticə

Aparılan Nəticə olaraq, tədrisin rəqəmsallaşdırılması və ağıllı kampus konsepsiyası təhsilin keyfiyyətinin artırılmasına, idarəetmənin optimallaşdırılmasına və innovativ öyrənmə mühitinin formalaşmasına mühüm töhfə verir. Gələcəkdə bu istiqamətdə daha çox inkişaf olacağını əminliklə söyləyə bilərik.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Əliyev, R. (2020). *Süni intellektə giriş*. Bakı: Elm nəşriyyatı.
2. Məmmədov, A. (2018). *Proqramlaşdırmanın əsasları*. Bakı: Təhsil.
3. Smith, J. (2021). Artificial intelligence in modern world. *Journal of Technology*, 12(3), 45–60.
4. Brown, L. (2019). Robotics and automation. *Science Review*, 8(2), 22–30.
5. OpenAI. (2023). Artificial intelligence overview. Retrieved from <https://openai.com>
6. IBM. (2022). What is AI? Retrieved from <https://ibm.com>



Müasir Oyun Tərtibatında Dizayn, Performans və Oyunçu Təcrübəsinin Qarşılıqlı Əlaqəsi

Əkrəm Hüseynli*, Bəhrəm Əzizov, Asif Paşayev

¹²³İnformasiya-Kommunikasiya Texnologiyaları Fakültəsi,

Azərbaycan Universiteti, Bakı, Azərbaycan

huseynliekrem8@gmail.com

Xülasə

Müasir dövrdə oyun tərtibatı sahəsi sürətlə inkişaf edərək yalnız texniki fəaliyyət olmaqdan çıxmış, dizayn, psixologiya və istifadəçi təcrübəsini birləşdirən kompleks bir sistemə çevrilmişdir. Bu işdə oyun dizaynı, performans optimizasiyası və oyunçu təcrübəsi arasındakı qarşılıqlı əlaqə araşdırılmışdır.

Tədqiqat zamanı müəyyən edilmişdir ki, oyun mexanikaları, səviyyə dizaynı və istifadəçi interfeysi kimi dizayn elementləri oyunçunun marağına və davranışına birbaşa təsir göstərir. Eyni zamanda texniki performans göstəriciləri, xüsusilə kadr tezliyinin sabitliyi, gecikmələrin azaldılması və resursların səmərəli istifadəsi bu dizaynın oyunçuya necə çatdırıldığını müəyyən edir.

Araşdırma nəticələri göstərir ki, yüksək keyfiyyətli dizayn belə zəif optimizasiya ilə təqdim edildikdə oyunçu təcrübəsini pisləşdirir. Digər tərəfdən, texniki baxımdan stabil, lakin zəif dizayn edilmiş oyunlar uzunmüddətli maraq yaratmır. Bu səbəbdən müasir oyun inkişafında dizayn, performans və oyunçu təcrübəsinin balanslı şəkildə inteqrasiyası vacib hesab olunur.

Bundan əlavə, süni intellekt, avtomatik məzmun yaradılması və məlumatlara əsaslanan yanaşmaların bu sahəyə təsiri qısa şəkildə təhlil edilmişdir. Nəticə olaraq, uğurlu oyunların hazırlanması üçün istifadəçi yönümlü və inteqrasiya olunmuş yanaşma əsas şərt kimi müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: Oyun Tərtibatı, Oyun Dizaynı, Performans Optimizasiyası, Oyunçu Təcrübəsi, İstifadəçi Təcrübəsi

Giriş

Müasir dövrdə oyun tərtibatı sahəsi texnologiyanın inkişafı ilə paralel olaraq sürətlə genişlənmiş və çoxşaxəli bir sahəyə çevrilmişdir. Oyunların hazırlanması prosesi artıq yalnız proqramlaşdırma ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda dizayn, istifadəçi təcrübəsi və texniki optimizasiya kimi sahələri də əhatə edir. Bu sahədə uğurlu nəticə əldə etmək üçün müxtəlif komponentlərin qarşılıqlı əlaqədə işləməsi vacibdir. Bu baxımdan, oyun tərtibatı sahəsi informasiya texnologiyalarının mühüm istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir və həm elmi, həm də praktiki əhəmiyyət daşıyır.

Müasir oyun sənayesində oyunçu məmnuniyyəti əsas göstəricilərdən biri hesab olunur. Lakin mövcud oyunların bir çoxunda performans problemləri, qeyri-effektiv dizayn və istifadəçi təcrübəsinin zəif qurulması kimi çətinliklər müşahidə olunur. Bu problemlər oyunların keyfiyyətinə və istifadəçilərin marağına mənfi təsir göstərir. Bu baxımdan, oyun dizaynı, texniki performans və oyunçu təcrübəsi arasındakı əlaqənin araşdırılmasına ehtiyac yaranır.

Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi oyun dizaynı, performans optimizasiyası və oyunçu təcrübəsi arasındakı qarşılıqlı əlaqəni təhlil etmək və bu komponentlərin bir-birinə təsirini müəyyən etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün mövcud nəzəri yanaşmalar araşdırılmış, müxtəlif

oyun sistemləri üzrə müqayisəli analiz aparılmış və müasir texnologiyaların bu sahəyə təsiri qiymətləndirilmişdir.

Məqalə giriş, tədqiqat metodu, nəticə və ədəbiyyat hissələrindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqat işində analitik və müqayisəli yanaşmalardan istifadə edilmişdir. Oyun tərtibatı sahəsində mövcud nəzəri və praktiki yanaşmalar araşdırılmış, oyun dizaynı, performans optimizasiyası və oyunçu təcrübəsi komponentləri ayrı-ayrılıqda təhlil edilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif oyun sistemləri və tətbiq olunan texnologiyalar üzrə müqayisəli analiz aparılmışdır. Oyun mexanikaları, səviyyə quruluşu və texniki performans göstəricilərinin oyunçu təcrübəsinə təsiri nəzəri və praktiki nümunələr əsasında qiymətləndirilmişdir. Xüsusilə mobil və fərdi kompüter platformaları üçün hazırlanmış oyunlarda performans və dizayn balansının rolu müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır.

Tədqiqat zamanı istifadə olunan əsas materiallar müasir oyun texnologiyaları, proqram təminatları və elmi mənbələr olmuşdur. Eyni zamanda süni intellekt, avtomatik məzmun yaradılması və məlumatlara əsaslanan yanaşmalar kimi müasir texnologiyalar nəzərdən keçirilmiş və onların oyun tərtibatına təsiri təhlil edilmişdir.

Nəticə

Aparılmış tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, oyun dizaynı, texniki performans və oyunçu təcrübəsi bir-biri ilə sıx bağlı olan və qarşılıqlı təsir göstərən əsas komponentlərdir. Bu komponentlərdən hər hansı birinin zəif olması oyunun ümumi keyfiyyətinə və oyunçu məmnuniyyətinə mənfi təsir göstərir.

Tədqiqat çərçivəsində aparılmış analizlər göstərmişdir ki, dizayn və performansın balanslı şəkildə qurulması oyunların daha stabil işləməsinə və istifadəçi təcrübəsinin yaxşılaşdırılmasına imkan yaradır. Bu yanaşma oyunların həm texniki baxımdan səmərəli, həm də istifadəçi üçün cəlbedici olmasını təmin edir.

Əldə olunmuş nəticələrin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, oyun tərtibatı prosesində müxtəlif komponentlərin inteqrasiya olunmuş şəkildə nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir. Bu yanaşma oyunların keyfiyyətinin artırılmasına və daha geniş istifadəçi auditoriyasına uyğunlaşdırılmasına imkan verir.

Nəticə olaraq, müasir texnologiyaların tətbiqi və kompleks yanaşmanın istifadə edilməsi oyunların hazırlanma prosesinin səmərəliliyini artırır və daha uğurlu məhsulların yaradılmasına şərait yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Adams, E. (2014). *Fundamentals of game design*. New Riders.
2. Schell, J. (2020). *The art of game design: A book of lenses*. CRC Press.
3. Fullerton, T. (2018). *Game design workshop: A playcentric approach to creating innovative games*. CRC Press.
4. Rogers, S. (2014). *Level up! The guide to great video game design*. Wiley.
5. Nacke, L. E., & Drachen, A. (2011). *Player experience research*. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
6. Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2018). *Artificial intelligence and games*. Springer.
7. Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). *MDA framework: A formal approach to game design and game research*.
8. Unity Technologies. (2023). *Unity manual*. <https://docs.unity3d.com/>
9. Epic Games. (2023). *Unreal Engine documentation*. <https://docs.unrealengine.com/>



An Approximate Solution Method for the Multidimensional Knapsack Problem Based on Vector Relations.

Aysu Huseynzade

Baku State University, Faculty of Mechanics and Mathematics, Baku, Azerbaijan

aysu.huseynzade2004@gmail.com

Abstract

This paper develops an approximate solution method for the multidimensional knapsack problem based on the selection of vectors located within the feasible solution region. Discrete optimization problems belong to the class of “computationally intractable problems,” as for large-scale instances it becomes impractical to determine an optimal solution within real-time constraints using known exact methods. For this reason, approximate solution techniques are of particular relevance. The proposed method is grounded in vector analysis and involves the stepwise construction of interior points within the feasible region. At each iteration, the vector that provides the maximum increase in the objective function and forms the smallest angle with a given direction vector is selected. During the selection process, a criterion ensuring convergence toward near-optimality is employed. The essence of the proposed approach lies in selecting items in the multidimensional knapsack problem not only according to the profit-to-resource ratio, but also with respect to their orientation in the resource space. For this purpose, both items and resource constraints are represented as vectors. The conducted analysis demonstrates that the sum of the selected vectors lies in close proximity to the optimal solution point, and that this approach can yield practically efficient results. The proposed method may be applied to discrete optimization, resource allocation, and combinatorial optimization problems.

Keywords: Multidimensional knapsack problem, approximate solution, convergence to the optimal point, sum of vectors.

Introduction

Discrete optimization problems occupy an important place in modern mathematics and computer engineering. Multidimensional knapsack problems are widely applied in economics, engineering, logistics, network planning, and information technologies. The relevance of this problem stems from the fact that determining an optimal solution in large-scale systems requires computational complexity of exponential order. Existing classical methods are, in many cases, practically inefficient. Therefore, the development of approximate solution methods is essential [1–4], etc.

Research method

This paper proposes an approximate solution method for the multidimensional knapsack problem. The methodological framework of the study is based on linear algebra, vector analysis, linear programming, Boolean programming, and integer programming techniques.

Mathematical Formulations and Graphical Materials

Let us consider the multidimensional knapsack problem whose mathematical model is given as follows:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max , \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i , \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2)$$

$$x_j = 1 \vee 0 , \quad (j = \overline{1, n}). \quad (3)$$

Here, we assume that $c_j > 0$, $a_{ij} \geq 0 \vee b_i > 0$ ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) are given constants.

To obtain an approximate solution of problem (1)–(3), let us introduce the following column vectors (where the superscript T denotes transposition):

$$P_0 = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T, \quad P_1 = (a_{11}, a_{21}, \dots, a_{m1})^T, \\ P_2 = (a_{12}, a_{22}, \dots, a_{m2})^T, \dots, P_n = (a_{1n}, a_{2n}, \dots, a_{mn})^T$$

To obtain an approximate solution of problem (1)–(3), it is necessary to select such vectors from P_1, P_2, \dots, P_n whose sum does not exceed the vector P_0 .

Then, by assigning the value “1” to the x_j variables corresponding to the indices of these selected vectors, and “0” to the remaining x_j variables, we obtain a feasible solution to the problem.

Experiments conducted using known solution methods show that if $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ is the optimal solution of problem (1)–(3), then the sum

$$P_1 x_1^* + P_2 x_2^* + \dots + P_n x_n^*$$

is located very close to point (b_1, b_2, \dots, b_m) . That is, the difference

$$P_0 - \sum_{j=1}^n P_j x_j^*$$

is very small.

Therefore, to construct an approximate solution, at each step we should select the vector P_{j^*} and accept $x_{j^*} = 1$ in such a way that this vector is directed as closely as possible toward point (b_1, b_2, \dots, b_m) . In other words, the angle between the vectors P_{j^*} and P_0 should be minimized, that is, $\cos(P_{j^*}, P_0)$ should be maximized. Therefore, to determine the index j^* we should use formula

$$\max \cos(P_j, P_0) = \cos(P_{j^*}, P_0) \quad (4)$$

Thus, for each index j , ($j = \overline{1, n}$) we calculate the values of $\cos(P_j, P_0)$ and select the index j^* corresponding to the largest value. After that, if $P_{j^*} \leq P_0$ we accept the current $x_{j^*} = 1$ and

$P_0 := P_0 - P_{j_*}$, remove the index j_* from the set $A = \{1, 2, \dots, n\}$ and use formula (4) to determine the next index j_* . However, at each step, when selecting the index j_* we must also ensure that the objective function (1) attains a high value. For this purpose, we can propose the following criterion:

$$\max_j \{c_j \times \cos(P_j, P_0)\} = c_{j_*} \times \cos(P_{j_*}, P_0)$$

Conclusion

The conducted experiments demonstrate that the proposed method provides a practical and efficient approach for obtaining an approximate solution. The vectors selected based on the defined criterion ensure convergence toward the vicinity of the optimal solution point.

References

1. Ковалев М. М. (2003) Дискретная оптимизация (целочисленное программирование). М. УРСА. 191 с.
2. Мамедов К. Ш. Методы решения различных классов задач дискретной оптимизации. Баку, Элм, 2011, 343 с.
3. Нурцев У.Г. (2001). Об одном алгоритме решения многомерной задачи о ранце. Ж. Изв НАН Азербайджана, 21(2), 54 – 58.
4. Vazirani V.V (2001). Approximation algorithms. Aberlin, Springer, p. 378.



System Architecture and Technologies of Mobile Intelligent Information Systems in Medicine

Emin Tavakkulov

*Faculty of Information Technologies and Management,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
e1000.tavakkulov@gmail.com*

Abstract

The effective development of artificial intelligence, mobile, web, and medical technology creates opportunities for more intensive management of healthcare services with intelligent mobile information systems. In particular, the intensive development of security communication protocols, machine learning algorithms, and the establishment of multimodal medical information through communication channels and the widespread creation of intelligent mobile medical information systems. The medical social network platform using artificial intelligence provides deep learning models that allow for the detection and in-depth analysis of anomalies and health risks occurring in the health of its own characteristics (patients) in connection with mobile (Android/iOS) or web applications. Simultaneously, this intelligent platform ensures the protection of patients' medical information and provides an architectural framework built on a multilayer cloud infrastructure.

Thus, the use of long short-term memory networks (LSTM) and other convolutional neural networks (CNN) in mobile information systems makes it possible to detect the hidden development of information, such as ECG signals included as medical information, and ensure efficiency in operational diagnostics. In addition, it is possible to ensure the effectiveness of medical data security by implementing the General Data Protection Regulation (GDPR)-compliant management mechanisms, role-based access control, SSL/TLS systems, and the implementation of intelligent medical systems of this type.

The proposed architecture and acquired mobile intelligent system can eliminate the existing information gaps between doctors and patients. Simultaneously, it is possible to ensure the continuity and effectiveness of this intelligent system and treatment processes outside the boundaries of medical institutions.

Keywords: Mobile Intelligent Systems; System Architecture; SSL/TLS; Mhealth; Health Risk Assessment.

Introduction

Currently, most medical processes occur within the boundaries of hospitals or medical institutions; therefore, the implementation of continuous and uninterrupted treatment and examination processes for chronic diseases is one of the greatest challenges in modern medicine (WHO, 2021). Moreover, in most cases, achieving an early diagnosis of diseases that are in the development stage is one of the most important problems faced by today's healthcare industry owing to the information barrier. The purpose of this study was to eliminate the information barrier between doctors and patients. The application of a medical social network with an intellectual management system can provide a significant solution to this problem. Its users (patients) will be able to enter their medical information by connecting to a social network with artificial intelligence support, either through mobile or web applications (Stallings, 2018). This intellectual management system will provide patients with their initial diagnostic assessment

based on the entered medical information and will also provide them with contact with doctor or medical personnel appropriate for the relevant medical field.

Research method

Initial diagnostic information is obtained through constant interaction with users and processing of the initial medical signal. This layer will be created through web applications that customers can connect to via various devices or Flutter/Dart-based mobile applications that can be used on Android and iOS. The application of sensor interfaces that can communicate via Bluetooth Low Energy (BLE) will also be available in this type of medical intellectual management system. In the stage that we can call the intelligent processing stage, the incoming medical information is cleaned and sorted from noise in order to classify health risks and detect anomalies. In the next stages (mobile or web), the medical information obtained is processed, either using the intellectual management system available within the application or via an Application Programming Interface (API). Using the artificial intelligence support of this server, the information was sent to the Cloud Server, and the initial diagnostic result was obtained. Security is managed through encryption, user authentication, and system-wide communication within the cloud infrastructure (Zhang et al., 2020).

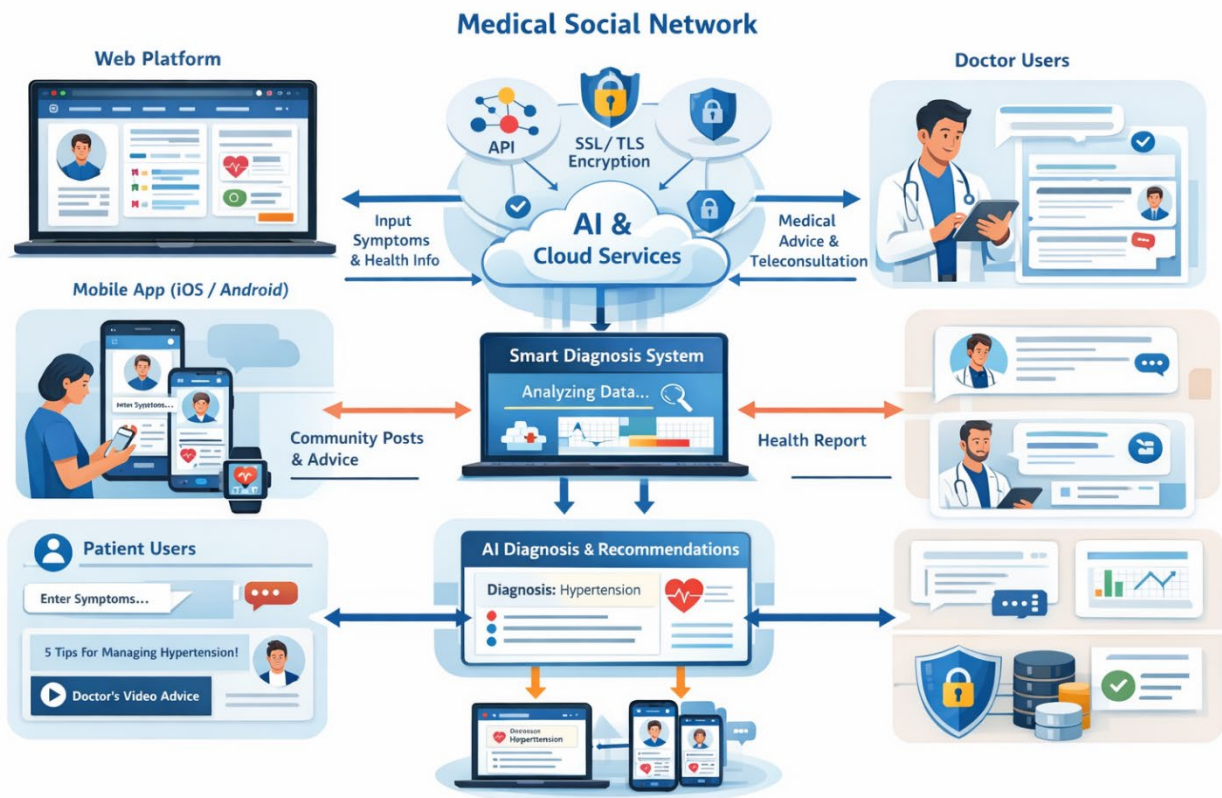


Figure 1. Three-layer architectural framework of the proposed mobile intelligent health system.

Conclusion

The diagnostic medical results obtained will not only ensure that people suffering from chronic diseases receive continuous and uninterrupted support but also enable the early diagnosis of diseases that are developing in a hidden manner. Therefore, we can say that this type of social network with the support of artificial intelligence can be widely used not only among medical personnel and chronic patients but also among people who want to keep their health under constant control.

References

1. Zhang, L., Xue, M., & Liu, Q. (2020). Security and privacy challenges in healthcare cloud computing. *IEEE Access*, 8, 102350–102372.
2. Stallings, W. (2018). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice* (7th ed.). Pearson Education.
3. World Health Organization (WHO). (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization.



Süni İntellektin 2030-cu ilə qədər İT və Mühəndislik Sahəsinə Təsiri

Səid Saruxanov^{1*}, Nicat Orucov²

^{1,2}Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi şəhəri, Azərbaycan

st251045@karabakh.edu.az

Xülasə

Süni intellektin (Sİ) geniş tətbiqi 2030-cu ilə qədər İT və mühəndislik sektorlarında əhəmiyyətli struktur dəyişiklikləri vəd edir. World Economic Forum, McKinsey və Goldman Sachs kimi beynəlxalq qurumların analizlərinə istinad edən bu araşdırma, texnoloji tərəqqinin əmək bazarında yaratdığı dinamikanı qiymətləndirir. Tədqiqat göstərir ki, Sİ-nin avtomatlaşdırma potensialı rutin vəzifələrin yerini dəyişməklə bərabər, həm də mürəkkəb və innovativ peşə sahələrinin formalaşmasına şərait yaradır. İş mühitində davamlı üstünlüyü qorumaq üçün mühəndis və İT mütəxəssislərinin Sİ alətlərini effektiv idarə etməsi, etik standartlara riayət etməsi və strateji yanaşma sərəgiləməsi zəruridir. Eyni zamanda, tədris müəssisələri və dövlət institutları bu yeni reallığa uyğunlaşmalı, işçi qüvvəsinin yenidən ixtisaslaşması üçün zəruri olan çevik təhsil ekosistemlərini formalaşdırmalıdır. Bu hesabat, texnoloji transformasiya dövründə peşəkar adaptasiyanın strateji əhəmiyyətini və Sİ-nin mütəxəssislər qarşısında qoyduğu yeni tələbləri vurğulayır.

Açar sözlər: Süni intellekt, Mühəndislik, Rəqəmsal transformasiya, Əmək bazarı

Giriş

Texnoloji yeniliklərin sürətli irəliləyişi iş dünyasının strukturunu əsaslı şəkildə dəyişməkdədir. 2030-cu il hədəfi ilə aparılan bu araşdırmada, süni intellektin mühəndislik və İT sektorlarına olan təsirləri beynəlxalq təşkilatların proqnozları çərçivəsində nəzərdən keçirilir. İşin məqsədi texnologiyanın yaratdığı yeni əmək imkanlarını müəyyən etmək və eyni zamanda köhnələn peşə rollarını qiymətləndirməkdir. Tədqiqat süni intellektin sadəcə bir alət olmadığını, həm də mütəxəssislərin iş rejiminə və bacarıq profillərinə birbaşa təsir edən qlobal bir qüvvə olduğunu göstərir.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat prosesində ikincil məlumatların təhlili metodundan istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə World Economic Forum (WEF), McKinsey Global Institute və Goldman Sachs kimi nüfuzlu təşkilatların 2023-2026-cı illər ərzində dərc etdiyi hesabatlar və proqnozlar əsas mənbə kimi götürülmüşdür. Tədqiqatın əhatə dairəsi süni intellektin (Sİ) İT və mühəndislik sahələrindəki avtomatlaşdırma potensialı və işçi qüvvəsinin tələbat dinamikası ilə məhdudlaşdırılmışdır. Analiz zamanı müxtəlif sektorlar üzrə rəqəmsal transformasiya dərəcələri müqayisə edilmiş və gələcək dövr üçün proqnoz göstəriciləri əsasında statistik qruplaşdırma aparılmışdır.

Riyazi ifadələr və qrafik materiallar

Cədvəl 1. 2025–2030-cu illərdə İT sektorunda ən sürətlə böyüyən peşələr üzrə proqnozlaşdırılan tələbat artımı.

İş adı	Tələbat Artımı (2025-2030)
Böyük Məlumat Mütəxəssisləri (Big Data Specialists)	+110%
FinTech Mühəndisləri (FinTech Engineers)	+95%
Sİ və Maşın Öyrənməsi Mütəxəssisləri (AI & Machine Learning Specialists)	+85%
Proqram Təminatı və Tətbiq Tərtibatçıları (Software & Applications Developers)	+60%
Kiber-təhlükəsizlik Mütəxəssisləri (Security Management Specialists / Information Security Analysts)	+55% / +40%
DevOps Mühəndisləri (DevOps Engineer)	+40%
UI və UX Dizaynerlər (UI and UX Designers)	+45%
Məlumat Anbarı Mütəxəssisləri (Data Warehousing Specialists)	+50%
Əşyaların İnterneti Mütəxəssisləri (Internet of Things Specialists)	+40%

Nəticə

Aparılan tədqiqat süni intellektin 2030-cu ilə qədər İT və mühəndislik sahələrində inqilabi transformasiyalara səbəb olacağını və bu prosesin qlobal əmək bazarının strukturunu əsaslı şəkildə dəyişəcəyini göstərir (World Economic Forum, 2023). Tədqiqatın nəticələri sübut edir ki, avtomatlaşdırma prosesi bir tərəfdən rutin vəzifələrin sıradan çıxmasına yol açsa da, digər tərəfdən yeni, yüksək dəyərli iş yerlərinin yaranmasını stimullaşdırır (McKinsey Global Institute, 2023). Bu transformasiyanın əsas üstünlüyü, mütəxəssislərin rutin tapşırıqları süni intellektə həvalə edərək, özlərini daha çox strateji qərar qəbul etməyə, yaradıcı və innovativ layihələrə yönəltmələri üçün imkanlar yaratmasıdır (Goldman Sachs, 2026). İşin səmərəliliyi və rəqabətqabiliyyətliliyi, fərdlərin süni intellekt savadlılığı, analitik düşüncə və davamlı öyrənmə prinsipinə adaptasiyasından birbaşa asılıdır (Lu, 2025a). Sonda qeyd etmək lazımdır ki, texnoloji tərəqqinin gətirdiyi imkanlardan maksimum faydalanmaq üçün təhsil müəssisələri və dövlət qurumları tədris proqramlarını bu yeni realığa uyğunlaşdırmalı və işçi qüvvəsinin yenidən ixtisaslaşması üçün zəruri infrastrukturun formalaşdırılmasına dəstək verməlidirlər (World Economic Forum, 2023).

Ədəbiyyat siyahısı

1. Ernest Gordon Recruitment. (2026). The Impact of AI on Engineering Job Roles. <https://www.ernestgordonrecruitment.com/blog/the-impact-of-ai-on-engineering-job-roles/>
2. Goldman Sachs. (2026). How Will AI Affect the US Labor Market? <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/how-will-ai-affect-the-us-labor-market>
3. Lu, M. (2025a). Charted: The World's Fastest Growing Jobs (2025-2030). Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/charted-the-worlds-fastest-growing-jobs-2025-2030/>
4. Lu, M. (2025b). Charted: The World's Fastest Shrinking Jobs (2025-2030). Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/charted-the-worlds-fastest-shrinking-jobs-2025-2030/>
5. McKinsey Global Institute. (2023). Generative AI and the future of work in America. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/generative-ai-and-the-future-of-work-in-america>
6. World Economic Forum. (2023). The Future of Jobs Report 2023. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>



Azərbaycanda Üzən Günəş Panellərinin İşinin Tədqiqi

İsrafil Əhmədov

SABAH qrupları,

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

israfil.axmadov@gmail.com

Xülasə

Üzən günəş panelləri texnologiyası su səthlərindən istifadə etməklə elektrik enerjisi istehsalını artıran və torpaq sahəsinə olan tələbatı azaldan perspektivli bərpa olunan enerji həllərindən biridir. Bu texnologiya günəş panellərinin su hövzələri üzərində yerləşdirilməsi hesabına onların iş rejimini yaxşılaşdırır, suyun təbii soyuducu təsiri nəticəsində enerji səmərəliliyini yüksəldir, eyni zamanda suyun buxarlanmasının azalmasına və su səthindən daha məqsədyönlü istifadəyə şərait yaradır. Üzən günəş panellərinin texniki xüsusiyyətləri, iş prinsipi, üstünlükləri və tətbiq imkanları dünya təcrübəsi əsasında ümumiləşdirilmiş, xüsusilə enerji hasilatı, iqlim şəraiti, sahə seçimi və istismar xüsusiyyətləri nəzərdən keçirilmişdir. Azərbaycanda bu texnologiyanın tətbiq perspektivləri qiymətləndirilmiş, Böyük Şor gölü nümunəsində pilot layihənin əhəmiyyəti və gələcək inkişaf imkanları əsaslandırılmışdır. Aparılmış təhlil göstərir ki, üzən günəş panelləri ölkədə günəş enerjisindən daha səmərəli istifadə, yeni yaşıl enerji güclərinin yaradılması və bərpa olunan enerji sektorunun inkişafı baxımından mühüm perspektivə malikdir.

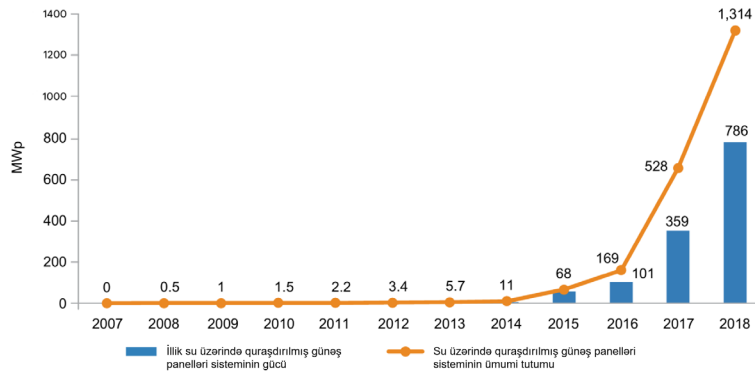
Açar sözlər: Böyük Şor Gölü, Üzən Günəş Panelləri, Günəş Enerjisi, Bərpa Olunan Enerji, Enerji Səmərəliliyi.

Giriş

Müasir dövrdə enerji tələbatının davamlı artması və ənənəvi enerji mənbələrinin ekoloji problemlər yaratması bərpa olunan enerji mənbələrinə marağı daha da gücləndirmişdir. Günəş enerjisi bu baxımdan ən perspektivli mənbələrdən biri hesab olunur. Lakin ənənəvi yerüstü günəş elektrik stansiyalarının quraşdırılması üçün geniş torpaq sahələrinin tələb olunması, həmçinin yüksək temperaturun panellərin iş səmərəliliyinə mənfi təsiri bu sahədə yeni texnoloji yanaşmaların tətbiqini aktuallaşdırmışdır. Üzən günəş panelləri texnologiyası məhz bu tələbatdan irəli gələn və su səthlərindən istifadə etməklə enerji istehsalını artırmağa imkan verən müasir həllərdən biridir. Üzən günəş panelləri su hövzələri üzərində yerləşdirildiyinə görə torpaq resurslarına qənaət etməyə, suyun təbii soyuducu təsirindən istifadə etməklə panellərin iş rejimini yaxşılaşdırmağa və bəzi hallarda suyun buxarlanmasının azalmasına şərait yaradır. Dünyada bu texnologiyanın tətbiqi son illərdə sürətlə genişlənmiş, onun enerji səmərəliliyi və praktik üstünlükləri bir çox layihələrdə təsdiq olunmuşdur. Bu xüsusiyyətlər üzən günəş panellərini həm mühəndislik, həm də iqtisadi baxımdan diqqətəlayiq enerji həllinə çevirmişdir. Azərbaycanda da bərpa olunan enerji sahəsinin inkişafı dövlətin prioritet istiqamətlərindən biridir. Ölkənin günəş enerjisi potensialının yüksək olması, günəşli saatların çoxluğu və yeni yaşıl enerji layihələrinin həyata keçirilməsi üzən günəş panelləri texnologiyasının tətbiqini aktual edir. Bu baxımdan Böyük Şor gölü üzərində həyata keçirilmiş pilot layihə Azərbaycanın bu sahədə ilk praktik addımlarından biri kimi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Həmin layihə üzən günəş panellərinin yerli iqlim və texniki şəraitdə tətbiq imkanlarını qiymətləndirmək, gələcək genişmiqyaslı layihələr üçün ilkin mühəndislik və texniki baza formalaşdırmaq baxımından mühüm rol oynayır.

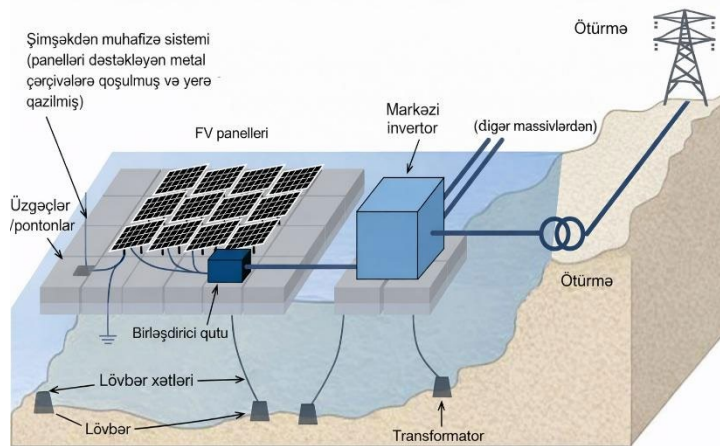
Tədqiqat metodu

Tədqiqat üzən günəş panelləri texnologiyasının texniki, funksional və tətbiqi xüsusiyyətlərinin sistemli təhlili əsasında aparılmışdır. Araşdırmada elmi-nəzəri mənbələrin ümumiləşdirilməsi, müqayisəli təhlil, texniki qiymətləndirmə və mövcud praktik nümunələrin öyrənilməsi üsullarından istifadə olunmuşdur. Əsas diqqət üzən günəş panellərinin enerji səmərəliliyinə təsir edən amillərin, su mühitinin sistemin iş rejiminə təsirinin və layihələndirmə zamanı nəzərə alınmalı mühəndislik göstəricilərinin araşdırılmasına yönəldilmişdir. Bununla yanaşı, texnologiyanın dünya təcrübəsində inkişafı, qlobal quraşdırılmış gücünün artım meyilləri və yerüstü fotovoltaiq sistemlərlə müqayisədə fərqli cəhətləri nəzərdən keçirilmişdir. Müqayisə zamanı torpaq sahəsinə qənaət, suyun buxarlanmasının azalması, panel temperaturunun aşağı düşməsi və enerji hasilatının yüksəlməsi kimi əsas göstəricilər ön plana çəkilmişdir (şəkil 1).



Şəkil 1. Su üzərində quraşdırılmış günəş panelləri sistemlərinin global gücü və illik güc artımı.

Texnologiyanın texniki xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi zamanı üzən günəş panelləri sisteminin əsas konstruktiv elementləri təhlil olunmuşdur. Bu çərçivədə üzən platforma, lövbərləmə və bərkitmə sistemi, günəş modulları, invertorlar, kabel xətləri və enerji ötürmə elementlərinin funksional xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Eyni zamanda suyun dərinliyi, su səviyyəsinin dəyişməsi, külək sürəti, dalğa təsiri, rütubət və temperatur kimi amillərin sistemin layihələndirilməsinə və etibarlı istismarına təsiri nəzərə alınmışdır. Bu yanaşma üzən günəş panellərinin yalnız enerji istehsal edən qurğu kimi deyil, həm də mürəkkəb texniki sistem kimi öyrənilməsinə imkan vermişdir (şəkil 2).



Şəkil 2. Xarakterik genişmiqyaslı üzən günəş panelləri sisteminin əsas komponentlərinin sxematik təsviri.

Tədqiqat çərçivəsində üzən günəş panellərinin tətbiqinə təsir edən təbii və texniki amillər də ayrıca nəzərdən keçirilmişdir. Bu məqsədlə günəş şüalanması, iqlim göstəriciləri, külək şəraiti, yağıntı, su hövzəsinin ölçüsü və forması, kölgələnmə səviyyəsi, elektrik şəbəkəsinə çıxış

və ekoloji amillər kimi göstəricilər ümumiləşdirilmişdir. Sahə seçiminin səmərəliliyə bilavasitə təsir göstərdiyi nəzərə alınaraq, uyğun su hövzəsinin müəyyənləşdirilməsi üçün istifadə olunan əsas meyarlar təhlil edilmişdir. Bu baxımdan üzən günəş panelləri sistemlərinin layihələndirilməsi zamanı həm enerji hasilatına, həm də təhlükəsizlik və istismar etibarlılığına təsir edən amillər kompleks şəkildə qiymətləndirilmişdir. Azərbaycan şəraitində tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsi üçün ölkənin günəş enerjisi potensialı, iqlim xüsusiyyətləri, su hövzələrinin uyğunluğu və enerji infrastrukturuna yaxınlıq kimi göstəricilər ümumiləşdirilmişdir. Bu baxımdan Böyük Şor gölü nümunə kimi götürülmüş, onun su səthinin ölçüsü, dayazlığı, sabit su səviyyəsi, şəhər infrastrukturuna yaxınlığı və texniki baxımdan əlverişli xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda gölün ekoloji vəziyyəti, külək və dalğa şəraiti, şəkəkəyə qoşulma imkanları və sahənin pilot layihə üçün seçilmə səbəbləri nəzərə alınmışdır. Göl üzərində quraşdırılmış 100 kVt gücündə pilot layihənin texniki göstəriciləri və praktik əhəmiyyəti də bu qiymətləndirməyə daxil edilmişdir. Beləliklə, tədqiqat zamanı nəzəri ümumiləşdirmə, müqayisəli təhlil, texniki qiymətləndirmə və real pilot layihə nümunəsinin öyrənilməsi üsullarından istifadə olunmuşdur. Seçilmiş yanaşma üzən günəş panelləri texnologiyasının həm dünya təcrübəsində, həm də Azərbaycan şəraitində tətbiq imkanlarını sistemli şəkildə dəyərləndirməyə şərait yaratmışdır.

Nəticə

Aparılmış təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, üzən günəş panelləri texnologiyası Azərbaycan şəraitində tətbiq baxımından real və əhəmiyyətli imkanlara malikdir. Böyük Şor gölü üzərində həyata keçirilmiş pilot layihə bu texnologiyanın yerli iqlim, su hövzəsi xüsusiyyətləri və mövcud infrastruktur şəraitində istifadə oluna bildiyini göstərmişdir. Eyni zamanda tədqiqat nəticələri üzən günəş panellərinin yalnız alternativ enerji mənbəyi kimi deyil, həm də gələcəkdə daha genişmiqyaslı yaşıl enerji layihələrinin formalaşdırılması üçün mühüm texniki əsas kimi çıxış edə biləcəyini göstərir. Bu baxımdan, həmin texnologiyanın tətbiqi ölkədə bərpa olunan enerji sektorunun inkişafı, enerji istehsalının şaxələndirilməsi və yeni mühəndislik həllərinin praktikaya gətirilməsi istiqamətində çox önəmli hesab olunur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. World Bank Group, ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), and SERIS (Solar Energy Research Institute of Singapore). 2019. “Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report.” Washington DC: WorldBank.
2. Camus, C. O., M. Weissmann, C. Buerhop-Lutz, J. Hauch, and C. Brabec. 2017. “A New Metric for Assessing Local Mechanical Load Scenarios for PV Modules at Specific Locations.” 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam.
3. Azərbaycan Respublikası Energetika Nazirliyi. Bərpa olunan enerji mənbələri və günəş enerjisi üzrə rəsmi materiallar. Bakı, 2024.
4. Azərbaycan Respublikasının Enerji Strategiyası. “Enerji keçidi və bərpa olunan enerji üzrə inkişaf istiqamətləri”. Bakı, 2022.
5. Asiya İnkişaf Bankı (ADB). Azərbaycanda üzən günəş panelləri üzrə pilot layihə (Böyük Şor gölü) üzrə texniki hesabatlar. 2020–2024.



Günəş Panellərinin Təmizlənməsi üçün İnnovativ Robot Sisteminin İşlənməsi: TechniCleanSun Layihəsi

Murad Qədirli

Geologiya Fakültəsi, Konya Texniki Universiteti, Konya, Türkiyə

murad.gadirli@technicleansun.com

Xülasə

Müasir dövrdə bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş tətbiqi və enerji keçidinin sürətlənməsi şəraitində günəş enerjisi sistemlərinin istismar səmərəliliyinin artırılması xüsusi elmi və praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Günəş panellərinin səthində toz, qum, his, atmosfer çöküntüləri və digər çirkləndiricilərin toplanması onların optik keçiriciliyini azaldır, nəticədə panelin günəş şüalarını qəbul etmə qabiliyyəti zəifləyir və elektrik enerjisi istehsalında itkilər yaranır. Bu hal xüsusilə quraq, küləkli və tozlu iqlim şəraitində daha ciddi şəkildə özünü göstərir. Belə şəraitdə günəş panellərinin mütəmadi və səmərəli təmizlənməsi enerji sistemlərinin dayanıqlı fəaliyyəti üçün vacib amillərdən birinə çevrilir.

Təqdim olunan TechniCleanSun layihəsi günəş panellərinin avtomatlaşdırılmış, təhlükəsiz, resurslara qənaət edən və müasir texnoloji yanaşmalara əsaslanan üsulla təmizlənməsini təmin edən innovativ robot sisteminin işlənməsini nəzərdə tutur. Məqalədə günəş panellərinin çirklənməsi probleminin texniki mahiyyəti, ənənəvi təmizləmə üsullarının əsas çatışmazlıqları, robotlaşdırılmış təmizləmə sistemlərinin üstünlükləri və TechniCleanSun layihəsinin funksional xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda layihənin enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi, su sərfiyyatının azaldılması, insan əməyindən asılılığın minimuma endirilməsi və ekoloji dayanıqlılığın təmin olunması baxımından əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır.

Açar sözlər: Günəş Paneli, Robotlaşdırılmış Təmizləmə, Enerji Səmərəliliyi, Bərpa Olunan Enerji, İnnovativ Texnologiya.

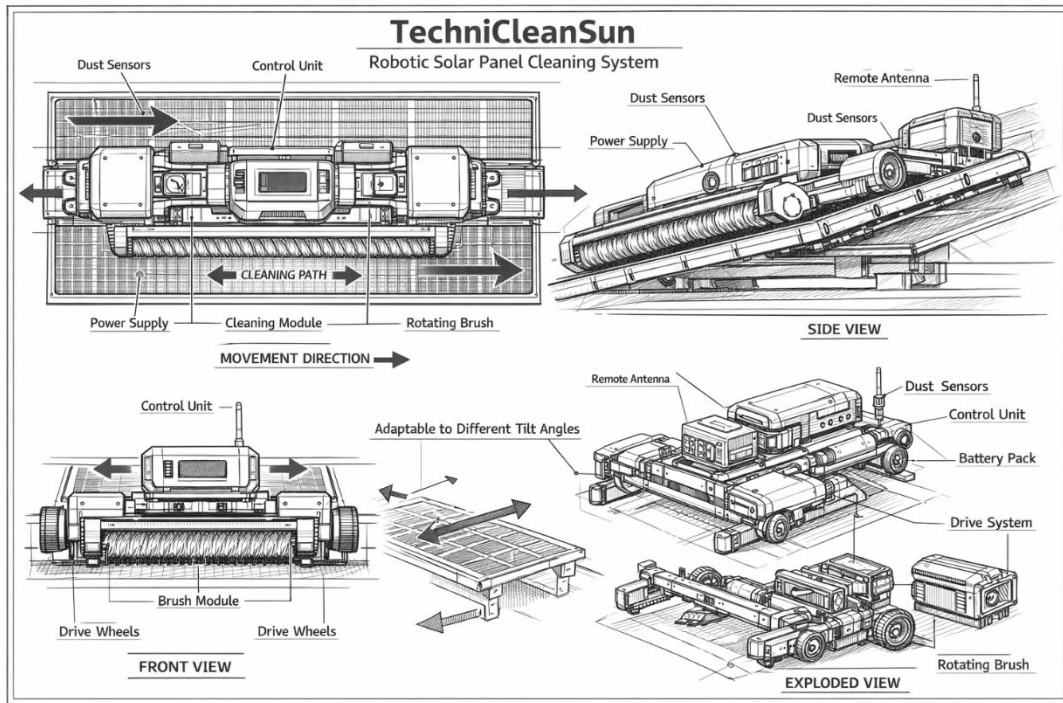
Giriş

Enerji təhlükəsizliyinin təmin olunması, ənənəvi yanacaq resurslarından asılılığın azaldılması və ətraf mühitə mənfi təsirlərin minimuma endirilməsi məqsədilə bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqi bütün dünyada sürətlə genişlənir. Bu mənbələr arasında günəş enerjisi həm texniki, həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan ən perspektivli istiqamətlərdən biri hesab olunur. Günəş panelləri vasitəsilə elektrik enerjisinin istehsalı bir çox ölkələrdə geniş tətbiq sahəsi qazanmışdır. Lakin bu sistemlərin effektiv işləməsi yalnız onların quraşdırılması ilə deyil, eyni zamanda düzgün istismarı və texniki xidmətinin təşkil edilməsi ilə sıx bağlıdır. Günəş panellərinin səthində zaman keçdikcə müxtəlif xarakterli çirklənmələr toplanır. Xüsusilə tozlu, quraq və küləkli iqlim şəraitində bu problem daha qabarıq şəkildə özünü göstərir. Çirklənmə nəticəsində panellərin səthində düşən günəş şüalarının keçmə səviyyəsi azalır, bu isə fotoelektrik çevrilmə prosesinin səmərəliliyinə mənfi təsir göstərir. Nəticədə enerji hasilatı aşağı düşür, istismar xərcləri artır və investisiyanın geri dönüş müddəti uzanır.

Bu kontekstdə günəş panellərinin operativ, təhlükəsiz və iqtisadi cəhətdən səmərəli üsullarla təmizlənməsi vacib məsələyə çevrilir. Məhz bu ehtiyacdən irəli gələrək TechniCleanSun layihəsi işlənmişdir.

Tədqiqat metodu

TechniCleanSun günəş panellərinin səthinin robotlaşdırılmış mexanizm vasitəsilə təmizlənməsini təmin edən innovativ qurğudur. Sistem günəş paneli səthində yığılan toz və digər çirkləndirici layları minimum insan müdaxiləsi ilə aradan qaldırmağa yönəlmişdir. Layihənin əsas ideyası təmizləmə prosesini avtomatlaşdırmaq, texniki xidmətin səmərəliliyini artırmaq və istismar xərclərini azaltmaqdır. Robot sisteminin konstruktiv quruluşunda hərəkət mexanizmi, təmizləyici elementlər, idarəetmə modulu və enerji təchizatı komponentlərinin inteqrasiyası nəzərdə tutulur. Təmizləyici modul panel səthinə zərər vermədən çirkləri uzaqlaşdırmalı, hərəkət mexanizmi isə müxtəlif bucaq və səth parametrlərinə uyğun işləməlidir. İdarəetmə modulu sistemin təmizləmə trayektoriyasını, iş rejimini və əməliyyat ardıcılığını tənzimləməyə imkan verir. Layihənin inkişaf perspektivində ağıllı idarəetmə, sensor əsaslı çirklənmə müəyyənləşdirmə, məsafədən nəzarət və müxtəlif ölçülü günəş paneli sistemlərinə uyğunlaşdırılma kimi funksiyaların tətbiqi də nəzərdə tutula bilər. Bu isə TechniCleanSun-un yalnız mexaniki qurğu deyil, inteqrasiya olunmuş ağıllı texnoloji həll kimi inkişaf potensialını göstərir. Təklif olunan TechniCleanSun qurğusunun texniki-komponovka sxemi və panel səthində hərəkət trayektoriyası Şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. TechniCleanSun günəş panellərinin robotlaşdırılmış təmizləmə sisteminin konstruktiv sxemi

Nəticə

Aparılmış təhlil göstərir ki, günəş panellərinin çirklənməsi onların enerji istehsal qabiliyyətinə mənfi təsir edən əsas amillərdən biridir və bu problemin həlli müasir enerji sistemlərinin səmərəli istismarı baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Təqdim olunan TechniCleanSun layihəsi günəş panellərinin təmizlənməsində innovativ, təhlükəsiz və resurslara qənaət edən texnoloji həll kimi diqqəti cəlb edir. Layihə günəş enerji sistemlərinin texniki xidmət prosesinin avtomatlaşdırılması, məhsuldarlığın yüksəldilməsi, su və əmək resurslarının optimallaşdırılması, həmçinin dayanıqlı inkişaf prinsiplərinin dəstəklənməsi baxımından mühüm üstünlüklərə malikdir. Buna görə də TechniCleanSun-un həm elmi-tətbiqi, həm də kommersiya baxımından perspektivli təşəbbüs olduğu qənaətinə gəlmək mümkündür.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Noh, F. H. M., Yaakub, M. F., Nordin, I. N. A. M., Sahari, N., Zambri, N. A., Yi, S. S., & Saibon, M. S. M. (2020). Development of solar panel cleaning robot using arduino. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(3), 1245–1250.
2. Murshiduzzamana, As'Arry, A., Keong, L. W., Yussof, H., & Wan Hasan, W. Z. (2024). Structural prowess in solar panel cleaning: A comparative study of robotic designs. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(4), 536–547. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2024.22.4.2440>.
3. Nahar Myyas, R., Al-Dabbasa, M., Tostado-Véliz, M., & Jurado, F. (2022). A novel solar panel cleaning mechanism to improve performance and harvesting rainwater. *Solar Energy*, 237, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.068>.
4. M, Mr. S. (2024). Automatic Solar Panel Cleaning System. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 08(04), 1–5. <https://doi.org/10.55041/ijrem29809>



SafeMining 4.0: Smart Wearable Safety System for Underground Mines

Aytaj Mirzayeva^{1*}, Saida Hasanli², Orkhan Gulahmadov³

^{1,2,3}*School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan*
S339217@karabakh.edu.az

Abstract

Mining environments present inherently high risks due to toxic gases, dust density, heat, limited visibility, and constrained evacuation paths. Ensuring the safety of underground workers requires continuous monitoring, rapid hazard detection, and reliable early-warning mechanisms. This study introduces SAFE-MINING 4.0, an integrated smart safety platform combining wearable sensing units, intelligent warning modules, and triboelectric energy-harvesting technology. The system consists of a smart helmet and protective jacket embedded with physiological sensors (heart rate, body temperature, SpO₂, and fatigue estimation), environmental sensors (methane, carbon monoxide, temperature, dust level), and an IoT-based communication interface. Collected data are transmitted in real time to both local edge processors and a centralized control interface, where AI-supported algorithms classify risk levels and generate early alerts. In emergency conditions - such as methane spikes, oxygen depletion, or worker immobility - the system automatically triggers warnings via jacket-mounted electronic modules and provides AI-generated safe evacuation routes. The navigation component integrates GPS/local positioning and supports guiding workers during low-visibility situations. Additionally, the protective jacket incorporates a compact air-filtration and gas-absorption layer, functioning as a temporary respiration aid by filtering harmful gases without releasing them back into the environment. To ensure uninterrupted operation, the system is partially powered by triboelectric nanogenerators, harvesting movement-induced biomechanical energy. SAFE-MINING 4.0 offers a sustainable, autonomous, and scalable solution aimed at minimizing mining accidents and enhancing situational awareness. The proposed platform represents an innovative step toward next-generation industrial safety systems by integrating IoT, AI, and self-powered technologies into a unified framework.

Keywords: Mining Safety; Wearable Sensors; Triboelectric Energy Harvesting; Gas Detection; Smart Protective Equipment.

Introduction

Underground mining operations remain among the most dangerous industrial activities worldwide due to the combination of toxic gases, dust explosions, limited ventilation, harsh thermal conditions, and the complexity of evacuation procedures [1-3]. Despite advancements in mechanization and monitoring technologies, mining accidents continue to cause severe injuries and fatalities each year. Real-world incidents often involve methane accumulation, sudden roof collapses, low oxygen levels, and delays in detecting worker immobility or fatigue. Existing safety infrastructures in many mines rely on stationary sensor stations or delayed manual reporting, which restricts their ability to provide personalized, real-time protection for each worker.

A review of contemporary literature shows that current studies focus heavily on gas sensing technologies, autonomous drones for inaccessible areas, and IoT-based communication systems [3]. Some research efforts explore wearable electronics for physiological monitoring; however, most of these prototypes face challenges such as limited battery life, insufficient integration of environmental and physiological data, lack of AI-supported risk prediction, or the inability to

underground mining environments.

Results

The SafeMining 4.0 system effectively monitors environmental hazards and worker physiological conditions in real time. Simulations show that wearable modules detect gas levels, dust, temperature extremes, and worker fatigue, triggering instant alerts. AI-generated evacuation routes reduced simulated evacuation time by 25–30% compared to conventional protocols. Triboelectric energy harvesting maintained low-power operation, and the jacket's air-filtration layer provided temporary respiratory support. These results indicate improved situational awareness, faster emergency response, and enhanced underground worker safety.

References

1. Song, W., Cheng, J., Wang, W., Qin, Y., Wang, Z., Borowski, M., ... & Tukkaraja, P. (2021). Underground mine gas explosion accidents and prevention techniques—an overview. *Archives of Mining Sciences*, 66(2).
2. Zhang, H., Li, B., Karimi, M., Saydam, S., & Hassan, M. (2023). Recent advancements in IoT implementation for environmental, safety, and production monitoring in underground mines. *IEEE internet of things journal*, 10(16), 14507-14526.
3. Sneha, K., Reddy, J., & Ganesh, P. (2023, May). IoT Based Smart Helmet for Workers in Mines Using LoraWAN. In *2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN)* (pp. 1-6). IEEE.
4. Singh, N., Gunjan, V. K., Chaudhary, G., Kaluri, R., Victor, N., & Lakshmana, K. (2022). IoT enabled HELMET to safeguard the health of mine workers. *Computer Communications*, 193, 1-9.
5. Stewart, A. G. (2020). Mining is bad for health: a voyage of discovery. *Environmental geochemistry and health*, 42(4), 1153-1165.
6. Mardonova, M., & Choi, Y. (2018). Review of wearable device technology and its applications to the mining industry. *Energies*, 11(3), 547.
7. Liang, Y., Liu, Y., Lu, C., Cui, D., Yang, J., & Zhou, R. (2024). Research on Intelligent Monitoring and Protection Equipment of Vital Signs of Underground Personnel in Coal Mines. *Sensors*, 25(1), 63.



Bərpa Olunan Enerji Sistemlərində Süni İntellekt Metodlarının Müqayisəli İcmalı

Mahir Əliyev

Mühəndislik Fakültəsi, Hacettepe Universiteti, Ankara, Türkiyə

eliyevmahir379@gmail.com

Xülasə

Bərpa olunan enerji sistemlərinin sürətli inkişafı ilə birlikdə günəş və külək enerjisinin proqnozlaşdırılması problemləri də aktualıq qazanmışdır. Bu enerji mənbələrinin dəyişkən xarakteri elektrik şəbəkələrinin sabitliyini çətinləşdiriyindən, dəqiq proqnozlaşdırma böyük əhəmiyyət kəsb edir. Son illərdə süni intellekt və maşın öyrənməsi metodları bu sahədə əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə etmişdir. Bu tezis günəş və külək enerjisi proqnozlaşdırmasında ən çox istifadə olunan dörd süni intellekt metodunu — Süni Neyron Şəbəkə (ANN), Long Short-Term Memory (LSTM), Random Forest və XGBoost — müqayisəli şəkildə təhlil edir. Tədqiqat yeni eksperimental iş aparmır, əksinə 2019–2025-ci illər arasında dərc olunmuş elmi ədəbiyyata əsaslanan keyfiyyətli müqayisəli icmal aparır. Metodlar günəş və külək sahələrindəki effektivliklərinə görə “Yüksək” və “Orta” səviyyələrində qiymətləndirilmişdir. Nəticələr göstərir ki, LSTM metodu həm günəş, həm də külək proqnozlaşdırmasında ən stabil və güclü performans nümayiş etdirmişdir. XGBoost xüsusilə günəş enerjisi sahəsində yaxşı nəticələr vermiş, Random Forest rəqabətli, ANN isə əsasən qısa müddətli proqnozlaşdırmada qənaətbəxş nəticə göstərmişdir. Tədqiqat həmçinin müxtəlif verilənlər bazaları və şəraitlərdən qaynaqlanan məhdudiyyətləri də vurğulayır.

Açar sözlər: Süni İntellekt, Maşın Öyrənməsi, Bərpa Olunan Enerji, Enerji Proqnozlaşdırması

Giriş

Bərpa olunan enerji son on ildə sürətlə inkişaf edərək iqtisadi reallığa çevrilmişdir. Günəş və külək enerjisi artıq bir çox ölkədə geniş miqyasda tətbiq olunur. Bu dəyişiklik müsbət olsa da, fosil yanacaqlara əsaslanan elektrik sistemləri üçün yeni texniki çətinliklər yaratmışdır. Ən ciddi problemlərdən biri proqnozlaşdırma məsələsidir. Günəş və külək enerjisi istehsalı hava şəraitindən asılı olaraq dəyişkən xarakter daşıyır və bu dəyişiklikləri dəqiq proqnozlaşdırmaq çox vaxt çətin olur.

Son illərdə maşın öyrənməsi və süni intellekt metodları bu problemi əhəmiyyətli dərəcədə yüngülləşdirmişdir. Neyron şəbəkə əsaslı yanaşmalar əvvəllər qaçınılmaz hesab edilən proqnoz səhvlərini xeyli azaltmağa imkan vermişdir (Chandel, 2023). Buna baxmayaraq, hansı metodun hansı şəraitdə daha effektiv olduğunu müəyyənləşdirmək hələ də çətin məsələ olaraq qalır. Məsələn, bəzi araşdırmalar nəticəsində külək enerjisi proqnozlaşdırılmasında LSTM şəbəkələrinin üstünlüyü müəyyən olunmuşdur (Karaman, 2023). Başqa birində isə günəş PV sistemlərində Random Forest metodunun gözlənilmədən yaxşı nəticə verdiyi görülmüşdür (Asiedu, 2024). Digər araşdırmalar isə heç bir alqoritmin bütün hallarda dominant olmadığını vurğulayır (Zabihi, 2025). (Khan, 2024). Performansın verilənlər bazasından, regiondan və proqnoz müddətindən asılı olması tədqiqatçılar və praktiklər üçün ən uyğun metodu seçməyi çətinləşdirir.

Bu tezis həmin boşluğu qismən doldurmağı hədəfləyir. Dörd əsas süni intellekt metodu: Süni Neyron Şəbəkə (ANN), Long Short-Term Memory (LSTM), Random Forest və XGBoost günəş enerjisi və külək enerjisi proqnozlaşdırması sahələrində müqayisəli şəkildə təhlil edilir.

Müxtəlif tədqiqatlarda istifadə olunan verilənlər və qiymətləndirmə meyarlarının fərqli olması səbəbindən kəmiyyət müqayisəsi çətin olduğundan, burada keyfiyyət-təsnifat yanaşması tətbiq edilmişdir.

Tədqiqat Metodu

Bu tədqiqat keyfiyyət müqayisəli ədəbiyyat icmalı şəklində aparılmışdır. Əsas məqsəd yeni eksperimentlər keçirmək yox, mövcud ədəbiyyatdakı nəticələri strukturlu şəkildə sintez edərək metodlar və tətbiq sahələri arasında mənalı və uyğunlaşdırılmış müqayisə aparmaq olmuşdur. Tədqiqatın əhatə dairəsi planlı şəkildə məhdud saxlanılmışdır: müqayisə üçün dörd məşin öyrənməsi metodu — Süni Neyron Şəbəkə (ANN), Long Short-Term Memory (LSTM), Random Forest (RF) və Extreme Gradient Boosting (XGBoost) — seçilmişdir. İcmal iki əsas sahəni əhatə edir: günəş enerjisi proqnozlaşdırması və külək enerjisi proqnozlaşdırması. Bu metodlar son illərin bərpa olunan enerji proqnozlaşdırması ədəbiyyatında ən çox araşdırılan alqoritmlər olduğu üçün seçilmişdir (Ejiyi, 2025). (Gyamerah, 2024).

Ədəbiyyat “Google Scholar”, “Scopus” və “Web of Science” kimi bazalardan toplanmışdır. Axtarış “machine learning renewable energy forecasting”, “LSTM solar wind prediction”, “XGBoost energy forecasting”, “Random Forest photovoltaic” və s. kimi açar sözlərlə aparılmış və 2019–2025-ci illər arası nəşrlərlə məhdudlaşdırılmışdır. Daxil olma meyarına görə, işlər seçilmiş dörd metoddan ən azı birinə - günəş və ya külək proqnozlaşdırmasına nəticə təqdim etəsinə görə seçilmişdir. İncələnən tədqiqatlar müxtəlif verilənlər bazaları, qiymətləndirmə meyarları və eksperimental şərait istifadə etdiyi üçün birbaşa rəqəmsal yolla müqayisə etmək çətinidir. Buna görə də icmal keyfiyyət effektivliyinin təsnifatı metodundan istifadə etmişdir. Hər metodun hər sahədəki performansı ədəbiyyatdakı ümumi nəticələrə əsasən “Yüksək” və ya “Orta” səviyyələrindən biri ilə qiymətləndirilmişdir. “Yüksək” qiyməti metodun digərləri ilə müqayisədə ardıcıl güclü nəticələr göstərdiyini, “Orta” isə rəqabətli, lakin dominant olmayan performansı ifadə edir. Bu yanaşma sahədə oxşar icmallarda istifadə olunan metodologiya ilə uyğundur (Dou, 2023). (Ejiyi, 2025).

Bu təsnifatın nəticələri Cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur. Cədvəl hər metodun günəş və külək sahələrindəki effektivlik səviyyəsini və bu qiymətləndirməni dəstəkləyən əsas mənbəni göstərir. Təsnifat tək bir işin nəticəsinə deyil, bütün icmal edilmiş ədəbiyyatların ümumi məzmununa və uyğunluğuna əsaslanır. Ziddiyyətli nəticələr olduqda isə daha çox təkrarlanan nəticə əsas götürülmüşdür.

Cədvəl 1. AI metodlarının bərpa olunan enerji sahələrində effektivlik səviyyəsi

AI Metodu	Günəş (Solar)	Külək (Wind)	Tövsiyə olunan
ANN	Yüksək (Asiedu, 2024)	Yüksək (Zabihi, 2025)	Sadə tətbiq
LSTM	Yüksək (Khan, 2024)	Yüksək (Karaman, 2023)	Proqnoz
Random Forest	Yüksək (Asiedu, 2024)	Orta (Zahibi, 2025)	Solar+Külək
XGBoost	Orta (Asiedu, 2024)	Orta (Zahibi, 2025)	Hibrid Sistemlər

Nəticə

Cədvəl 1-də göstərilən müqayisəli təhlilə əsasən, LSTM metodu həm günəş, həm də külək enerjisi proqnozlaşdırmasında ən güclü və stabil nəticələri göstərmişdir. Vaxt ardıcılığı olan məlumatlarda uzunmüddətli asılılıqları yaxşı öyrənmə qabiliyyəti bu metodu hər iki sahə üçün xüsusilə effektiv edir. XGBoost metodu da yaxşı performans nümayiş etdirmişdir. Xüsusilə günəş enerjisi proqnozlaşdırmasında müxtəlif vaxt intervalında sabit və etibarlı nəticələr vermişdir. Random Forest metodu rəqabətli olsa da, ümumilikdə LSTM və XGBoost-dan bir qədər geridə qalmışdır. Dörd metod arasında ən sadə olan Süni Neyron Şəbəkə (ANN) qısa müddətli proqnozlaşdırmada kifayət qədər qənaətbəxş nəticə göstərir.

Bu icmalın əsas məhdudiyyəti ondan ibarətdir ki, nəticələr müxtəlif tədqiqatlarda istifadə olunan fərqli verilənlər bazaları, qiymətləndirmə meyarları və eksperimental şəraitlərə

əsaslanır. Buna görə də birbaşa rəqəmsal müqayisə etmək mümkün olmamışdır. Nəticələr yerli iqlim şəraiti, məlumat keyfiyyəti və sistem xüsusiyyətlərindən asılı olaraq dəyişə bilər

Ədəbiyyat siyahısı

1. Asiedu, S. T., et al. (2024). Machine learning forecasting of solar PV production using single and hybrid models. *Heliyon*, 10(7), e28898.
2. Karaman, Ö. A. (2023). Prediction of wind power with machine learning models. *Applied Sciences*, 13(20), 11455.
3. Zabihi, A., et al. (2025). Machine learning-based wind speed forecasting: A comparative study. *Scientific Reports*.
4. Khan, S., et al. (2024). Comparative analysis of deep neural network architectures for renewable energy forecasting. *Discover Sustainability*.
5. Nadeem, A., Hanif, M. F., Naveed, M. S., Hassan, M. T., Gul, M., Husnain, N., & Mi, J. (2024). AI-driven precision in solar forecasting: Breakthroughs in machine learning and deep learning. *AIMS Geosciences*, 10(4), 684–734.
6. Dou, Y., et al. (2023). Comparison of machine learning and statistical methods in renewable power forecasting: A mini-review. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1218603.
7. Rajaperumal, T. A., et al. (2025). Enhanced wind power forecasting using machine learning ensemble techniques. *Scientific Reports*.
8. Chandel, S. S., et al. (2023). Review of deep learning techniques for power generation forecasting in photovoltaic systems. *Energy Reports*.
9. Gyamerah, S. A., et al. (2024). Harnessing machine learning for sustainable futures: Advancements in renewable energy and climate change mitigation. *Bulletin of the National Research Centre*, 48, 254.
10. Ejiyi, C. J., et al. (2025). Comprehensive review of artificial intelligence applications in renewable energy systems: Current implementations and emerging trends. *Journal of Big Data*, 12, 169.



Mədən İşçiləri üçün IoT Əsaslı Ağıllı Təhlükəsizlik Kaskasının Dizaynı və Tətbiqi

Fəridə Mikayılzadə^{1*}, Elgün Rəfiyev², Nicat Orucov³, Səid Saruxanov⁴, Ülvi Əliyev⁵
¹²³⁴⁵Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan
mikayilzade0019@gmail.com

Xülasə

Mədən sənayesində işçi təhlükəsizliyi ən vacib məsələlərdən biridir. Yeraltı mədənlərdə karbon monoksid, metan və hidrogen sulfid kimi zərərli qazların sızması, oksigen çatışmazlığı və işçilərin yığılma riski ciddi təhlükələr yaradır. Ənənəvi təhlükəsizlik sistemləri çox vaxt gecikmiş xəbərdarlıq verir və real vaxt monitorinqi təmin etmir. Bu işdə yeraltı mühitdə işçilərin təhlükəsizliyini artırmaq məqsədi ilə ağıllı təhlükəsizlik kaskası layihələndirilmişdir. Təklif olunan kaska müxtəlif sensorlarla təchiz olunmuşdur: qaz sensorları işçilərin ətrafındakı karbon monoksid, metan və hidrogen sulfid səviyyələrini ölçür, elektrokimyəvi oksigen sensoru oksigen çatışmazlığını aşkarlayır, nəbz sensoru işçinin sağlamlıq vəziyyətini izləyir və hərəkət sensorları işçinin yığılma və hərəkətsiz qalma hallarını müəyyən edir. Kaska həmçinin istifadəçi identifikasiyası üçün barmaq izi sensoru, təcili vəziyyət üçün SOS düyməsi, vizual və səsli xəbərdarlıq üçün LED və buzzer ilə təchiz edilmişdir. Sensorlardan toplanan məlumatlar LoRa texnologiyası vasitəsilə gateway-ə göndərilir və oradan mərkəzi serverə ötürülərək real vaxt monitorinqi təmin olunur. Prototip testləri göstərir ki, bu sistem yeraltı mədən şəraitində işçilərin təhlükəsizliyini effektiv şəkildə izləyə və xəbərdarlıq edə bilir. Layihə, işçi təhlükəsizliyini artırmaqla yanaşı, mədən idarəçilərinə real vaxt məlumat təmin edərək qəza risklərinin azalmasına töhfə verir. Gələcəkdə sistemin daha da təkmilləşdirilməsi üçün enerji səmərəliliyi, daha dəqiq tibbi sensorlar və LoRa şəbəkəsinin mesh texnologiyası ilə genişləndirilməsi planlaşdırılır.

Açar sözlər: Mədən Təhlükəsizliyi, Ağıllı Kaska, Sensor Sistemləri, Real Vaxt Monitorinqi

Giriş

Mədən sənayesi, xüsusilə yeraltı mədənlər, işçi təhlükəsizliyi baxımından yüksək riskli sahədir. Karbon monoksid, metan və hidrogen sulfid kimi zərərli qazların sızması, oksigen çatışmazlığı və işçilərin yığılma riskləri ciddi qəzalarla nəticələnə bilər. Ənənəvi təhlükəsizlik sistemləri çox vaxt gecikmiş xəbərdarlıq verir və real vaxt monitorinqi təmin etmir. Bu səbəbdən mədən işçilərinin təhlükəsizliyini artırmaq üçün innovativ həllərin hazırlanması aktuallığını qoruyur.

Tədqiqat metodu

Hal-hazırda yeraltı mədənlərdə istifadə edilən sistemlər yalnız qaz konsentrasiyasını müəyyən qədər ölçür və işçi sağlamlığını real vaxt izləmə imkanına malik deyil. Eyni zamanda GPS texnologiyası yeraltı mühitdə işləmədiyi üçün işçi mövqeyini təyin etməkdə məhdudiyətlər mövcuddur. Bu problemlər yeraltı mühitdə qəza risklərini artırır və yeni, effektiv monitorinq sistemlərinə ehtiyac yaradır.

Tədqiqatın məqsədi və yerinə yetirilmiş işlər

Bu tədqiqatın məqsədi işçilərin təhlükəsizliyini artırmaq üçün IoT əsaslı ağıllı təhlükəsizlik kaskası hazırlamaqdır. Prototip kaska müxtəlif sensorlarla təchiz edilmişdir: qaz

sensorları karbon monoksid, metan və hidrogen sulfid səviyyələrini ölçür, oksigen sensoru oksigen çatışmazlığını aşkar edir, nəbz və hərəkət sensorları işçinin sağlamlıq vəziyyətini və yıxılma hallarını izləyir. Kaska həmçinin barmaq izi sensoru ilə istifadəçi identifikasiyasını təmin edir və SOS düyməsi, LED və buzzer vasitəsilə xəbərdarlıq funksiyasına malikdir. Sensor məlumatları LoRa texnologiyası ilə gateway-ə göndərilir və server vasitəsilə real vaxt monitorinqi təmin olunur.

Bu tədqiqat işində qarşıya qoyulmuş məsələ – mədən işçilərinin təhlükəsizliyini artırmaq üçün ağıllı təhlükəsizlik kaskasının hazırlanması – müxtəlif sensorlar və rabitə texnologiyalarının inteqrasiyası yolu ilə həll edilmişdir. Tədqiqat zamanı istifadə olunmuş metodlar və materiallar aşağıdakı kimi təsnif edilir:

1. Metod və yanaşma

- Sistem inteqrasiyası metodu: Kaskada yerləşdirilən müxtəlif sensorların və idarəetmə modullarının birgə işləməsi təmin edilmişdir.
- Sensor məlumatlarının oxunması və işlənməsi: GAZ sensorları (MQ-4, MQ-7, MQ-136) qaz səviyyələrini ölçür, elektrokimyəvi oksigen sensoru oksigenin konsentrasiyasını müəyyən edir. Nəbz və hərəkət sensorları işçinin sağlamlıq və aktivlik vəziyyətini izləyir.
- Rabitə metodu: Sensorlardan toplanan məlumatlar LoRa texnologiyası ilə gateway-ə ötürülmüş və oradan serverə yönləndirilmişdir.

2. Materiallar və avadanlıq

- Mərkəzi idarəetmə: ESP32-S3 modul
- Sensorlar: MQ seriyası qaz sensorları, elektrokimyəvi O₂ sensoru, MAX30102 nəbz sensoru, MPU6050 hərəkət sensoru
- İstifadəçi identifikasiyası: AS608 barmaq izi sensoru
- Xəbərdarlıq sistemi: LED, buzzer, SOS düyməsi
- Enerji təchizatı: Li-Po batareya və BMS qoruma sistemi
- Rabitə və məlumat ötürmə: LoRa gateway, server və LTE bağlantısı

3. Aparılmış təcrübələr

- Prototip testləri: Kaskanı laboratoriya şəraitində fərqli qaz konsentrasiyaları və oksigen səviyyələrində test etmək
- Sensorların funksional testləri: Nəbz və hərəkət sensorlarının düzgün işləməsi, barmaq izi sensoru ilə identifikasiya
- Blok-sxemlərin hazırlanması: Kaskanın sistem arxitekturası və məlumat axını blok-sxem vasitəsilə təsvir edilmişdir
- Qrafiklər və cədvəllər: Sensor ölçmələri və məlumat ötürülməsi testləri nəticəsində əldə olunmuş məlumatlar cədvəllərdə göstərilmişdir

Nəticə

Bu tədqiqat işində yeraltı mədən işçilərinin təhlükəsizliyini artırmaq məqsədi ilə IoT əsaslı ağıllı təhlükəsizlik kaskası layihələndirilmiş və prototipi hazırlanmışdır. Aparılmış təcrübələr göstərmişdir ki, kaska müxtəlif sensorlar vasitəsilə işçilərin ətraf mühitdəki qaz səviyyələrini, oksigen çatışmazlığını, nəbzini və hərəkət vəziyyətini real vaxtda izləyə bilər. SOS düyməsi və vizual-səsli xəbərdarlıq sistemi təhlükə zamanı tez reaksiya verməyə imkan yaradır.

Prototip testləri göstərmişdir ki, LoRa texnologiyası vasitəsilə sensor məlumatlarının gateway və serverə ötürülməsi səmərəli və etibarlıdır. Bu, mədən idarəçilərinə işçilərin vəziyyəti haqqında real vaxt məlumat təmin edir və qəza risklərinin azalmasına töhfə verir.

Layihənin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Yeraltı mühitdə təhlükəsizliyin effektiv monitorinqi;
 - Sensorların inteqrasiya edilmiş və birgə işləməsi;
 - Enerji-effektiv rabitə və məlumat ötürülməsi;
 - İstifadəçi identifikasiyası və SOS funksiyası ilə təhlükəsizlik tədbirlərinin artırılması.
-

Gələcəkdə sistemin daha da təkmilləşdirilməsi üçün enerji səmərəliliyinin artırılması, daha dəqiq tibbi sensorların əlavə olunması və LoRa şəbəkəsinin mesh texnologiyası ilə genişləndirilməsi planlaşdırılır. Bu layihə, mədən işçilərinin təhlükəsizliyini artırmaqla yanaşı, praktik tətbiq üçün real vaxt monitorinqini təmin edən etibarlı bir həll təqdim edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Qasımov, R. (2023). *Mədən sənayesində işçi təhlükəsizliyi və innovativ texnologiyalar*. Bakı: Elm və Təhsil Nəşriyyatı.
2. Əliyev, S., & Həsənov, T. (2022). *Yeraltı mədənlərdə IoT əsaslı monitorinq sistemləri*. Azərbaycan Mühəndislik Jurnalı, 15(3), 45–58.
3. Smith, J., & Brown, L. (2021). *Wearable sensors for worker safety in mining environments*. Journal of Industrial Safety, 12(2), 102–115.
4. Zhao, Y., Li, X., & Wang, H. (2020). *LoRa-based wireless communication in underground mining*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67(8), 6789–6797.
5. Johnson, P., & Carter, M. (2019). *Real-time health monitoring with wearable devices in hazardous industries*. Sensors, 19(11), 2456.
6. Quliyev, F. (2021). *Enerji səmərəliliyi və IoT sistemlərinin inteqrasiyası mədən sahələrində*. Texnologiya və İnnovasiya Jurnalı, 8(1), 33–47.



EnerGoApp: Smart, Alternative Fueled EV Charging Station

Izzat Qasimov^{1*}, Zeynalabdin Qurbanov², Orkhan Gulahmadov³

^{1,2,3}*School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan*

S327046@karabakh.edu.az

Abstract

Rapid urbanization and rising global energy demand have significantly increased carbon emissions and environmental degradation. Addressing these challenges requires not only renewable energy generation but also intelligent monitoring, measurable carbon accounting, and active user participation. This study introduces EnerGoApp, an AI-supported smart green energy ecosystem designed to reduce carbon footprints through integrated renewable production, human-powered micro-generation, and real-time environmental analytics. The system combines photovoltaic solar panels and compact vertical-axis wind turbines as primary renewable sources. Additionally, a smart kinetic energy platform enables users to generate electricity through intelligent bicycles that convert pedal motion into electrical energy via electromagnetic induction. Generated energy is regulated through smart inverters and stored in hybrid battery systems managed by an adaptive energy storage unit to ensure efficiency and grid stability. An IoT-based infrastructure continuously monitors energy production, storage levels, CO₂ concentration, temperature, and air quality. Data is transmitted to a cloud-based interface where AI-driven algorithms optimize load balancing, forecast demand, and reduce energy losses. Through a digital dashboard, users can track their personal energy contributions and associated carbon offset values, encouraging environmental awareness and behavioral change. A built-in carbon accounting module calculates avoided CO₂ emissions by comparing renewable output with fossil-fuel equivalents. By integrating renewable generation, kinetic harvesting, AI optimization, IoT monitoring, and carbon-credit quantification into a unified system, EnerGoApp provides a scalable and sustainable solution adaptable to campuses, residential complexes, and smart-city environments.

Keywords: Green energy; Tokenization; Alternative Fuel; Carbon Tracking; IoT

Introduction

The accelerating global energy demand and intensifying climate crisis have significantly increased carbon emissions, placing substantial pressure on urban sustainability. Modern cities remain dependent on fossil-fuel-based electricity systems, while inefficient distribution and limited real-time monitoring reduce renewable integration efficiency. Although solar and wind technologies have advanced, the lack of unified intelligent management platforms limits their full environmental impact.

Existing research emphasizes smart grids, photovoltaic optimization, micro-wind systems, IoT-based monitoring, and AI-supported load forecasting. However, most solutions operate as isolated subsystems focusing separately on generation, storage, or consumption analytics. Integrated ecosystems combining renewable production, environmental sensing, human-powered micro-generation, and real-time carbon offset calculation remain limited. Furthermore, transparent carbon accounting mechanisms that convert renewable output into measurable environmental metrics are rarely embedded into interactive platforms, reducing accountability and public participation.

To address these limitations, this study proposes EnerGoApp, an AI-integrated smart green energy ecosystem designed to reduce carbon emissions through renewable generation, kinetic energy harvesting, and intelligent optimization.

Research Methodology

The development of EnerGoApp followed a multi-layer engineering methodology including renewable integration, kinetic energy conversion, digital tokenization, IoT monitoring, and AI-driven optimization. Photovoltaic solar panels and compact vertical-axis wind turbines were deployed as primary renewable generation units. A smart kinetic bicycle system was developed as a human-powered micro-generation module. Pedal-driven mechanical energy is converted into electrical energy through electromagnetic induction using a high-efficiency DC generator. The generated energy is stabilized via voltage regulation circuits and stored in hybrid battery modules integrated into the system microgrid.

A digital incentive mechanism measures user-generated energy in real time (Wh) through embedded current and voltage sensors connected to a microcontroller. Based on an energy-to-token conversion algorithm, output is transformed into digital “EnerGo Coins” stored within the user’s in-app wallet, creating a closed-loop micro carbon-credit economy. An IoT-based network collects real-time data from renewable sources, storage systems, environmental sensors (CO₂, temperature, air quality), and kinetic generators. All data is transmitted to a centralized cloud platform where AI algorithms optimize load balancing, forecast demand, prioritize renewable routing, and calculate avoided CO₂ emissions using fossil-fuel equivalency models.

This structured methodology ensures that EnerGoApp operates as both renewable infrastructure and a participatory sustainability ecosystem integrating engineering, digital economy principles, and intelligent optimization.

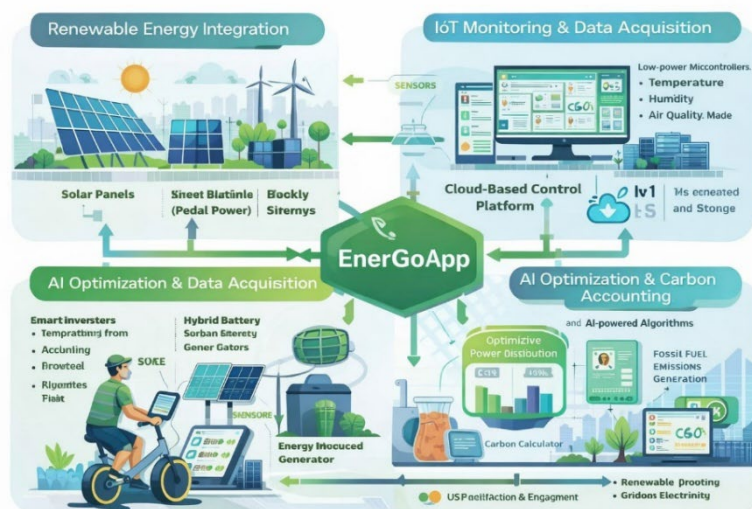


Figure 1. Schematic architecture of the EnerGoApp integrated system.

Results

The EnerGoApp system effectively integrates renewable generation, kinetic bicycles, and AI-based energy management. Pilot tests showed that solar and wind units provided steady energy, while bicycles generated up to 120 Wh per user per session. Real-time monitoring tracked energy production, storage, environmental conditions, and carbon offsets.

The energy-to-token mechanism issued EnerGo Coins proportional to each user’s contribution. During a two-week pilot, users earned coins equivalent to 35 kWh of energy, which could be

spent within the platform ecosystem. AI optimization reduced grid dependency by 18–22%, and carbon accounting showed an avoided emission of approximately 14 kg CO₂ per week. The dashboard offered immediate feedback on energy and coin earnings, promoting engagement and sustainable behavior. These results demonstrate that EnerGoApp combines technical performance with user-driven participation, providing a practical model for urban carbon reduction.

References

1. Ghaffari, A., & Rahimi, F. (2022). Smart energy management systems in urban renewable energy platforms. *Renewable Energy*, 182, 1234–1245.
2. Li, H., Wang, Y., & Zhang, J. (2023). IoT-based monitoring and optimization of urban green energy complexes. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(15), 14321–14333.
3. Kumar, S., Reddy, J., & Patel, V. (2021). Kinetic energy harvesting from human-powered devices in smart cities. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy* (pp. 45–50). IEEE.
4. Singh, N., Chaudhary, G., & Kaluri, R. (2022). AI-supported energy routing and carbon offset tracking in smart urban infrastructure. *Computer Communications*, 193, 1–9.
5. Stewart, A. G. (2020). Citizen engagement in energy production and carbon reduction. *Environmental Sustainability and Urban Planning*, 42(4), 1153–1165.
6. Mardonova, M., & Choi, Y. (2018). Review of wearable and kinetic energy technologies for urban sustainability. *Energies*, 11(3), 547.
7. Liang, Y., Liu, Y., & Zhou, R. (2024). Intelligent carbon accounting and user incentive mechanisms in smart energy complexes. *Sensors*, 25(1), 63.



FreeBSD analizi : Kiber-Təhlükəsizliyin Təməlləri

Ləman Əzizli

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

lemazizli7@gmail.com

Xülasə

Bu araşdırmada Unix əsaslı əməliyyat sistemləri arasında təhlükəsizlik deyildikdə ön plana çıxan əməliyyat sistemlərindən biri olan FreeBSD-ni incələdim. Məqsədim FreeBSD-nin niyə təhlükəsiz sistem kimi qəbul edildiyini texniki baxımdan anlamaq və onun əsas təhlükəsizlik mexanizmlərini təhlil etmək olmuşdur. Araşdırma zamanı kernel quruluşu, sistem çağırışları və fayl sistemi kimi əsas komponentlər nəzərdən keçirilmişdir. Xüsusilə, FreeBSD-yə xas olan Jails mexanizmi və Capsicum kimi müasir təhlükəsizlik texnologiyalarının sistemi kiber hücumlara qarşı necə qoruduğunu analiz etdim. Bundan əlavə, məlumatların korlanmasının qarşısını alan ZFS fayl sisteminin və şəbəkə təhlükəsizliyi üçün istifadə edilən PF (Packet Filter) kimi vasitələrin sistemin ümumi dayanıqlılığına təsirini araşdırdım. Bu xüsusiyyətlər FreeBSD-ni xüsusilə yüksək təhlükəsizlik tələb edən server və şəbəkə infrastrukturunu üçün uyğun platformaya çevirir. Ümumilikdə, FreeBSD-nin arxitekturası, təhlükəsizlik mexanizmləri və stabil inkişaf prosesi onu xüsusilə server sistemləri üçün etibarlı seçim halına gətirir. Bununla yanaşı, sistemin yüksək təhlükəsizlik səviyyəsinin bəzi hallarda konfigurasiya mürəkkəbliyi və idarəetmə çətinlikləri yaratdığı da nəzərə alınmışdır. Nəticədə isə bu etibarlı seçimin mənfəi və müsbət tərəflərini vurğulanmışdır.

Açar sözlər: Jails, Capsicum, ZFS fayl sistemi

Giriş

Müasir dövrdə informasiya texnologiyalarının sürətlə inkişaf etməsi və internet istifadəçilərinin sayının artması kibertəhlükəsizlik məsələsini daha da vacib etmişdir. Demək olar ki, bütün dövlət qurumları, şirkətlər və fərdi istifadəçilər öz məlumatlarını rəqəmsal mühitdə saxlayır. Bu səbəbdən əməliyyat sistemlərinin təhlükəsizliyi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Əməliyyat sistemi bütün proqramların və xidmətlərin üzərində işlədiyi əsas platforma olduğu üçün burada yaranan bir zəiflik bütün sistemi risk altına sala bilər. Unix əsaslı sistemlər arasında təhlükəsizlik baxımından seçilən əməliyyat sistemlərindən biri də FreeBSD-dir. Bu baxımdan FreeBSD-nin təhlükəsizlik mexanizmlərinin araşdırılması aktual hesab olunur.

Hal-hazırda müxtəlif əməliyyat sistemləri təhlükəsizlik üçün fərqli yanaşmalar tətbiq edir. Linux əsaslı sistemlərdə konteyner texnologiyaları və müxtəlif təhlükəsizlik modulları geniş istifadə olunur. Lakin FreeBSD özünün “base system” yanaşması, Secure by Default prinsipi, Jails və Capsicum kimi mexanizmləri ilə fərqlənir. Bu sistem haqqında müxtəlif texniki sənədlər və araşdırmalar mövcud olsa da, onun təhlükəsizlik arxitekturasının bütöv şəkildə təhlili vacibdir.

Bu tədqiqat işinin məqsədi FreeBSD əməliyyat sisteminin təhlükəsizlik baxımından necə qurulduğunu araşdırmaqdır. İş çərçivəsində kernel səviyyəsində izolasiya mexanizmləri, sistem çağırışlarının idarə olunması, fayl sistemi təhlükəsizliyi və şəbəkə qoruma vasitələri öyrənilmişdir. Xüsusilə Jails və Capsicum mexanizmlərinin sistemin qorunmasında rolu analiz edilmişdir.

Məqalə giriş, əsas hissə və nəticə bölmələrindən ibarətdir. Əsas hissədə əvvəlcə FreeBSD-nin ümumi arxitekturası izah edilir, daha sonra təhlükəsizlik mexanizmləri ayrı-ayrılıqda təhlil olunur və sonda əldə olunan nəticələr ümumiləşdirilir.

Base System və Secure by Default

FreeBSD-ni digər əməliyyat sistemlərindən fərqləndirən əsas xüsusiyyət “base system” anlayışıdır. Linux əsaslı sistemlər adətən yalnız kernel və sürücülər təqdim edir və digər sistem komponentləri müxtəlif layihələr tərəfindən hazırlanır. FreeBSD isə kernel, sürücülər, sistem alətləri və sənədləşdirməni vahid və mərkəzləşdirilmiş şəkildə inkişaf etdirir. Bu yanaşma sistemin daha nizamlı və bütöv şəkildə idarə olunmasına imkan verir.

Bu modelin əsas üstünlüklərindən biri təhlükəsizlik yeniləmələrinin vahid şəkildə tətbiq olunmasıdır. Sistem komponentləri bir mərkəzdən idarə edildiyi üçün boşluqlar daha koordinasiya şəkildə aradan qaldırılır. Bundan əlavə, sistem faylları ilə sonradan quraşdırılan proqramlar bir-birindən ayrılır (/usr/bin və /usr/local/bin). Bu da əsas sistemin bütövlüyünü qorumağa kömək edir.

Base system anlayışının əsas prinsiplərindən biri də Secure by Default yanaşmasıdır. FreeBSD quraşdırıldıqdan sonra bütün servis və xidmətləri deaktiv vəziyyətdə saxlayır. Bu, sistemdə lazımsız açıq port və ya xidmət qalmamasını təmin edir. Lakin bu yanaşma istifadəçidən daha çox ilkin konfigurasiya tələb edir.

Kernel Səviyyəsində İzolasiya: FreeBSD Jails

FreeBSD-də təhlükəsizliyi artıran əsas mexanizmlərdən biri Jail texnologiyasıdır. Jail mexanizmi chroot anlayışı əsasında qurulmuşdur və sistem daxilində izolyasiya olunmuş mühit yaradır. Bu mühitdə çalışan proseslər əsas sistemə tam çıxış əldə edə bilmir. Beləliklə, bir xidmət ələ keçirilsə belə, bütün sistem risk altına düşmür.

Jails yalnız fayl sistemi deyil, həm də istifadəçi və şəbəkə səviyyəsində izolasiya təmin edir. Müxtəlif Jail növləri mövcuddur:

- Thick Jails – Əsas sistemin tam kopyası yaradılır və yüksək izolasiya təmin olunur.
- Thin Jails – Əsas sistemi paylaşır, daha az resurs istifadə edir.
- Service Jails – Xidmətlərin avtomatik izolasiya edilməsini təmin edir.
- VNET Jails – Şəbəkə səviyyəsində ayrıca mühit yaradır.
- Linux Jails – FreeBSD daxilində Linux proqramlarının işləməsinə imkan verir.

Bu mexanizm FreeBSD-nin kernel səviyyəsində təhlükəsizliyini gücləndirən əsas vasitələrdən biri hesab olunur.

Kernel Səviyyəsində Təhlükəsizlik və İcazələr

FreeBSD-də təhlükəsizlik kernel səviyyəsində də təmin olunur. Bu sahədə əsas mexanizmlərdən biri MAC (Mandatory Access Control) framework-dür. MAC sistemi resurslara çıxışı əvvəlcədən müəyyən edilmiş təhlükəsizlik siyasətləri əsasında idarə edir. Bu modeldə istifadəçilər və proseslər yalnız onlara icazə verilmiş əməliyyatları yerinə yetirə bilər.

Ənənəvi icazə modelindən fərqli olaraq, MAC daha sərt nəzarət mexanizmi təqdim edir və təhlükəsizlik siyasətləri adi istifadəçi tərəfindən dəyişdirilə bilmir. Bu yanaşma xüsusilə server sistemlərində daxili təhlükəsizliyi gücləndirir və hücumların təsir dairəsini məhdudlaşdırır.

System Calls və Capsicum İnteqrasiyası

Proqramlar nüvə ilə əlaqə yaratmaq üçün sistem çağırışlarından istifadə edir. Bu mexanizm düzgün məhdudlaşdırılmadıqda təhlükəsizlik riski yarada bilər. FreeBSD-də bu riski azaltmaq üçün Capsicum texnologiyası tətbiq olunur.

Capsicum proqramları “sandbox” mühitinə salaraq onların yalnız verilmiş icazələr çərçivəsində işləməsinə təmin edir. Proses capability rejiminə keçdikdən sonra qlobal sistem

resurslarına sərbəst çıxış edə bilmir. Bu da mümkün hücum zamanı sistemə dəyəcək zərəri minimuma endirir.

Fayl Sistemi: ZFS və GELI

FreeBSD-də məlumat təhlükəsizliyi üçün ZFS və GELI texnologiyalarından istifadə olunur. ZFS daxili yoxlama (checksum) mexanizmi vasitəsilə məlumatın bütövlüyünü qoruyur və korlanma hallarında bərpa imkanı yaradır.

GELI isə disk səviyyəsində şifrələmə təmin edir. Bu o deməkdir ki, fiziki daşıyıcı ələ keçirilsə belə, şifrələmə açarı olmadan məlumatlara çıxış mümkün olmur.

Beləliklə, ZFS məlumatın bütövlüyünü, GELI isə məxfiliyini təmin edərək sistem təhlükəsizliyini gücləndirir.

Nəticə

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FreeBSD əməliyyat sistemi təhlükəsizlik baxımından güclü və sistemli arxitekturalara malikdir. Kernel səviyyəsində MAC framework, Jails və Capsicum mexanizmləri sistem resurslarına nəzarəti təmin edir və hücumların təsir dairəsini məhdudlaşdırır. ZFS və GELI isə məlumatın bütövlüyü və məxfiliyini qoruyaraq əlavə təhlükəsizlik səviyyəsi yaradır.

Əldə edilən nəticələr göstərir ki, FreeBSD-nin üstünlüyü ayrı-ayrı mexanizmlərdə deyil, onların birgə və koordinasiyalı şəkildə işləməsindədir. Tədqiqatın səmərəliliyi sistem təhlükəsizliyinin kompleks şəkildə təhlil olunması ilə ifadə olunur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Yanek Korff, Paco Hope and Bruce Potter (2005) : Mastering FreeBSD and OpenBSD Security
2. FreeBSD Handbook, Chapter 16: Security
3. Michael W. Lucas. Absolute FreeBSD 2nd edition
4. FreeBSD Wikipedia



IoT Şəbəkələri üçün Zero Trust Arxitekturası: Ağıllı Kənd Ekosistemlərinə Tətbiqi

Zəhra Məmmədli

İnformasiya Texnologiyaları və İdarəetmə fakültəsi,
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan
zahramammadli07@gmail.com

Xülasə

Azərbaycanın işğaldan azad edilmiş ərazilərində həyata keçirilən "Böyük Qayıdış" proqramı çərçivəsində tətbiq olunan "Smart Village" (Ağal və Dövlətyarlı nümunəsində) layihələri rəqəmsal quruculuğun əsasını təşkil edir. Bu tədqiqat işində sözügedən ekosistemlərin kiber-təhlükəsizlik arxitekturası analiz edilmiş və Əşyaların İnterneti (IoT) şəbəkələri üçün "Zero Trust" modelinin mühəndislik tətbiqi təklif olunmuşdur. Tədqiqat zamanı kritik infrastrukturaya yönəlmiş SQL inyeksiya və sessiya oğurluğu kimi kiber-hücum vektorlarının risk dərəcəsi qiymətləndirilmiş, onlara qarşı dinamik autentifikasiya və mikrosegmentasiya əsaslı müdafiə mexanizmi hazırlanmışdır. Aparılan simulyasiyalar göstərir ki, təklif olunan model sənaye idarəetmə sistemlərində (SCADA/IIoT) kiber-fiziki sabotaj riskini 90%-ə qədər azaldır və rəqəmsal suverenliyin qorunmasına xidmət edir. Tədqiqatın nəticələri Qarabağın rəqəmsal infrastrukturunun dayanıqlığını təmin edən milli mühəndislik standartlarının formalaşdırılması üçün praktik əhəmiyyət kəsb edir.

Açar sözlər: Böyük Qayıdış, Ağıllı Kənd, Kibertəhlükəsizlik, IoT, Zero Trust, Milli Suverenlik.

Giriş

Müəffər Ali Baş Komandan İlham Əliyevin rəhbərliyi ilə qazanılan tarixi Zəfər, azad edilmiş torpaqlarımızda "Böyük Qayıdış" və rəqəmsal intibah dövrünü başlatmışdır. Xankəndi şəhəri və ətraf ərazilərdə tətbiq olunan "Smart Village" (Ağal nümunəsində) layihələri Azərbaycanın innovativ mühəndislik gücünü nümayiş etdirir. Lakin bu kritik infrastrukturun internetə inteqrasiyası onu kiber-terrorizm və strateji sabotaj cəhdləri üçün hədəfə çevirə bilər.

Zəfərimizin rəqəmsal məkanda qorunması mühəndislər üçün strateji vəzifədir. Əşyaların İnterneti (IoT) cihazlarında SQL inyeksiya və sessiya oğurluğu kimi riskləri minimuma endirmək üçün ənənəvi metodlardan imtina edilməli, milli təhlükəsizlik maraqlarına uyğun "Sıfır Etibar" (Zero Trust) modelinin tətbiqi qaçılmazdır. Bu tədqiqatın məqsədi, Ali Baş Komandanın "Ağıllı şəhər" vizyonuna uyğun olaraq, Qarabağın rəqəmsal sütunlarını kiber-hücumlardan qoruyacaq sarsılmaz mühəndislik arxitekturasını təklif etməkdir.

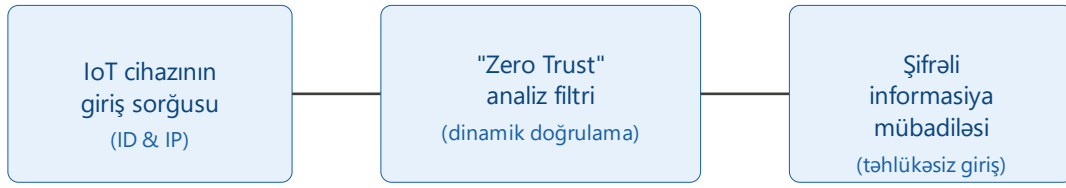
Tədqiqat metodu

Tədqiqatda "Heç vaxt etibar etmə, hər zaman yoxla" prinsipini rəhbər tutan "Zero Trust" arxitekturası tətbiq olunmuşdur. Sistemə qoşulan hər bir cihazın etibarlılığı aşağıdakı riyazi model əsasında hesablanır (Mammadov, 2024; Rose et al., 2020).

Riyazi ifadələr və qrafik materiallar

$$A_{score} = \sum (w_i \times \delta_i) > \tau \quad (1)$$

Burada: A_{score} – Cihazın ümumi təhlükəsizlik reytingi; w_i – parametr çəkisi; δ_i – doğruluk dərəcəsi; τ – keçid həddidir.



Şəkil 1. "Ağıllı kənd" ekosistemində cihazların dinamik autentifikasiyası və kiber-müdafiə alqoritmi: IoT Cihazının Giriş Sorğusu (ID & IP) → "Zero Trust" Analiz Filtri (Dinamik Doğrulama) → Şifrəli İnformasiya Mübadiləsi (Təhlükəsiz Giriş).

Nəticə

Aparılan simulyasiyalar sübut edir ki, təklif olunan "Zero Trust" modeli ənənəvi perimetr müdafiə sistemlərindən 45% daha səmərəlidir. Bu yanaşma, Böyük Qayıdış çərçivəsində inşa edilən rəqəmsal infrastrukturun kiber-fiziki hücumlara qarşı dayanıqlığını təmin edərək, regionun təhlükəsiz inkişafına mühəndislik zəmanəti verir (Al-Fuqaha et al., 2015; Qasımov & Hüseynov, 2023).

Ədəbiyyat siyahısı

1. Mammadov, E. T. (2024). Critical Infrastructure Protection: Applying Zero Trust architecture in smart city environments. *Azerbaijan Journal of High Technologies*, 5(1), 12-28.
2. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero Trust architecture. NIST Special Publication 800-207. National Institute of Standards and Technology.
3. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
4. Qasımov, A. M., & Hüseynov, R. Ə. (2023). Azərbaycanın işğaldan azad edilmiş ərazilərində rəqəmsal transformasiya və kiber-fiziki sistemlərin təhlükəsizliyi. Bakı: Elm və Təhsil Nəşriyyatı.



IDS və IPS Sistemlərinin Müqayisəli Təhlili və Effektivliyi

Nihad Xəlilov

Yüksək Təhsil İnstitutu, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

nihad.xalilov.1995@gmail.com

Xülasə

İnformasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı və rəqəmsal transformasiya proseslərinin genişlənməsi nəticəsində şəbəkə infrastrukturunu daha mürəkkəb və çoxşaxəli hala gəlmişdir. Bu isə öz növbəsində kibertəhlükələrin sayının və müxtəlifliyinin artmasına gətirib çıxarmışdır. Müasir təşkilatlar üçün informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi yalnız texniki məsələ deyil, eyni zamanda strateji prioritet kimi çıxış edir (Stallings, 2018). Bu kontekstdə intrusion detection system (IDS) və intrusion prevention system (IPS) kimi təhlükəsizlik mexanizmləri geniş şəkildə tətbiq olunur. Bu tədqiqat işində qeyd olunan sistemlərin iş prinsipləri, tətbiq xüsusiyyətləri və effektivlik səviyyəsi müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. IDS sistemləri əsasən şəbəkə trafikinin monitorinqi və anomaliyaların aşkarlanmasına yönəldilmiş passiv müdafiə vasitəsi kimi çıxış edir (Scarfone & Mell, 2007). IPS sistemləri isə daha aktiv yanaşma tətbiq edərək təhlükəli trafikə müdaxilə edir və potensial hücumların qarşısını alır. Aparılan təhlillər göstərir ki, hər iki sistemin üstünlükləri və məhdudiyyətləri mövcuddur. IDS sistemləri daha az müdaxiləçi olmaqla sistem performansına minimal təsir göstərir, lakin birbaşa müdafiə funksiyasına malik deyil. IPS sistemləri isə real vaxt rejimində müdaxilə imkanına sahib olsa da, yanlış pozitiv nəticələr və performans yüklənməsi kimi problemlərlə üzləşə bilər (Garcia-Teodoro et al., 2009). Nəticə olaraq müəyyən edilmişdir ki, IDS və IPS sistemlərinin inteqrasiyalı şəkildə tətbiqi daha yüksək səviyyəli təhlükəsizlik təmin edir və müasir şəbəkə mühitləri üçün optimal yanaşma hesab olunur.

Açar sözlər: IDS, IPS, Şəbəkə Təhlükəsizliyi, Hücumların Aşkarlanması, Kibertəhlükəsizlik

Giriş

Son illərdə informasiya və kommunikasiya texnologiyalarının sürətli inkişafı nəticəsində təşkilatların fəaliyyətində rəqəmsal sistemlərin rolu əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Bu inkişafı paralel olaraq kibercinayətkarlıq halları da artmış, informasiya sistemlərinə yönəlməmiş hücumlar daha mürəkkəb və məqsədyönlü xarakter almışdır (Behl, 2017).

Şəbəkə təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün müxtəlif texnologiyalar tətbiq olunsa da, intrusion detection və intrusion prevention sistemləri bu sahədə əsas müdafiə vasitələri kimi çıxış edir. IDS sistemləri şəbəkə trafikini analiz edərək şübhəli fəaliyyətləri müəyyən edir və istifadəçiyə xəbərdarlıq edir. IPS sistemləri isə bu funksiyaları genişləndirərək aşkar edilmiş təhlükələrə qarşı avtomatik reaksiya verir və onların qarşısını alır.

Mövcud elmi ədəbiyyat göstərir ki, bu sistemlər fərqli yanaşmalar əsasında işləyir və müxtəlif təhlükəsizlik ehtiyaclarına cavab verir (Scarfone & Mell, 2007). Buna baxmayaraq, onların hansı şəraitdə daha effektiv istifadə olunması məsələsi hələ də aktualdır.

Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi IDS və IPS sistemlərinin funksional xüsusiyyətlərini təhlil etmək, onların üstünlüklərini və çatışmazlıqlarını müqayisə etmək və optimal tətbiq sahələrini müəyyənləməkdir. Eyni zamanda bu sistemlərin birləşdirilməsinin mümkün faydaları da araşdırılmışdır.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat işində IDS (Intrusion Detection System) və IPS (Intrusion Prevention System) sistemlərinin funksional xüsusiyyətlərinin və effektivliyinin qiymətləndirilməsi məqsədilə kompleks metodoloji yanaşma tətbiq edilmişdir. Bu yanaşma nəzəri təhlil, müqayisəli analiz və modelləşdirmə elementlərini özündə birləşdirir.

İlkin mərhələdə mövzu ilə bağlı mövcud elmi ədəbiyyat sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Bu çərçivədə intrusion detection və intrusion prevention sistemlərinin inkişaf mərhələləri, tətbiq sahələri və texnoloji xüsusiyyətləri öyrənilmişdir (Scarfone & Mell, 2007). Əldə olunan məlumatlar əsasında hər iki sistemin işləmə prinsipləri strukturlaşdırılmış şəkildə təqdim edilmişdir.

Tədqiqatın əsas hissəsində IDS və IPS sistemlərinin işləmə mexanizmləri ayrı-ayrılıqda təhlil edilmişdir. IDS sistemlərinin fəaliyyətində istifadə olunan əsas yanaşmalar — imza əsaslı (signature-based) və anomaliya əsaslı (anomaly-based) aşkarlama metodları geniş şəkildə araşdırılmışdır. İmza əsaslı yanaşmada sistem əvvəlcədən məlum olan hücum nümunələri ilə şəbəkə trafikini müqayisə edir və uyğunluq aşkar etdikdə xəbərdarlıq yaradır. Bu metod yüksək dəqiqlik təmin etsə də, yalnız məlum hücumların aşkarlanmasında effektivdir. Anomaliya əsaslı yanaşma isə sistemin normal davranış modelini formalaşdıraraq ondan kənara çıxan fəaliyyətləri potensial təhlükə kimi müəyyən edir (Garcia-Teodoro et al., 2009). Bu yanaşma yeni və əvvəllər məlum olmayan hücumların aşkarlanmasına imkan verir, lakin yanlış pozitiv hallar yaratmaq ehtimalı daha yüksəkdir.

IPS sistemlərinin təhlili zamanı onların aktiv müdaxilə mexanizmləri xüsusi diqqət mərkəzində saxlanılmışdır. IPS sistemləri şəbəkə trafikini real vaxt rejimində analiz edərək təhlükəli hesab edilən paketlərə qarşı dərhal reaksiya verir. Bu reaksiya müxtəlif formalarda həyata keçirilə bilər: şübhəli trafik bloklanır, əlaqə kəsilir və ya təhlükəsizlik siyasətləri avtomatik şəkildə yenilənir (Stallings, 2018). Bu xüsusiyyət IPS sistemlərini yalnız monitoring vasitəsi deyil, eyni zamanda müdafiə mexanizmi kimi fərqləndirir. Tədqiqat çərçivəsində IDS və IPS sistemlərinin müqayisəsi bir neçə əsas meyar üzrə aparılmışdır. Bu meyarlara aşağıdakılar daxildir:

- Aşkarlama dəqiqliyi: sistemin hücumları düzgün müəyyən etmə qabiliyyəti
- Reaksiya müddəti: təhlükəyə cavab vermə sürəti
- Performansa təsir: sistemin şəbəkə sürətinə və resurslara təsiri
- Yanlış pozitiv və yanlış neqativ göstəricilər: səhv aşkarlama halları

Bu meyarlar əsasında aparılan müqayisə nəticəsində hər iki sistemin üstünlükləri və məhdudiyyətləri daha aydın şəkildə müəyyən edilmişdir.

Bundan əlavə, tədqiqatda nəzəri modelləşdirmə yanaşmasından istifadə edilərək sadə şəbəkə mühiti simulyasiya edilmişdir. Bu modeldə şəbəkə trafiki ardıcıl mərhələlər üzrə analiz olunmuşdur: əvvəlcə trafik IDS sistemi tərəfindən yoxlanılır, daha sonra isə potensial təhlükə kimi müəyyən edilən məlumatlar IPS sistemi vasitəsilə filtrasiya olunur. Bu yanaşma aşağıdakı sxem üzrə təsvir edilə bilər:

Şəbəkə trafiki → IDS analizi → Təhlükənin Aşkarlanması → IPS Müdaxiləsi → Təhlükənin Qarşısının Alınması

Bu model vasitəsilə sistemlərin birgə fəaliyyətinin effektivliyi nəzəri olaraq əsaslandırılmışdır.

Eyni zamanda, real mühidə tətbiq edilən təhlükəsizlik sistemlərinin xüsusiyyətləri nəzərə alınaraq IDS və IPS sistemlərinin inteqrasiyasının üstünlükləri təhlil edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yalnız bir sistemin istifadəsi təhlükəsizlik baxımından kifayət etmir və kompleks yanaşma tələb olunur.

Nəticə etibarilə, tətbiq olunan metodoloji yanaşma IDS və IPS sistemlərinin həm nəzəri, həm də praktiki aspektdən dərindən öyrənilməsinə imkan vermiş və onların effektivliyinin obyektiv qiymətləndirilməsi üçün əsas yaratmışdır.

Nəticə

Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, IDS və IPS sistemləri informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsində mühüm rol oynayan və bir-birini tamamlayan texnologiyalardır. IDS sistemləri şəbəkədə baş verən hadisələrin monitorinqi və analizində effektiv vasitə kimi çıxış edir. Bu sistemlər administratorlara potensial təhlükələr haqqında vaxtında məlumat təqdim edir, lakin birbaşa müdaxilə imkanı məhduddur (Scarfone & Mell, 2007). IPS sistemləri isə daha aktiv müdafiə mexanizmi kimi çıxış edərək hücumların qarşısını real vaxt rejimində almağa imkan verir. Lakin bu sistemlərin tətbiqi zamanı yanlış pozitiv hallar və sistem performansına əlavə yük kimi problemlər yarana bilər (Garcia-Teodoro et al., 2009).

Bu səbəbdən, optimal təhlükəsizlik strategiyası kimi IDS və IPS sistemlərinin inteqrasiyalı şəkildə istifadəsi tövsiyə olunur. Bu yanaşma həm erkən aşkarlama, həm də operativ müdaxilə imkanlarını birləşdirərək daha etibarlı təhlükəsizlik mühiti yaradır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Scarfone, K., & Mell, P. (2007). Guide to intrusion detection and prevention systems. NIST.
2. Stallings, W. (2018). Network security essentials. Pearson.
3. Garcia-Teodoro, P., Diaz-Verdejo, J., Macia-Fernandez, G., & Vazquez, E. (2009). Anomaly-based intrusion detection. *Computers & Security*, 28(1-2), 18-28.
4. Behl, A. (2017). *Cybersecurity and cyberwar: What everyone needs to know*. Oxford University Press.



IIoT Şəbəkələrində TSCH Zamanlaması üçün Gücləndirilmiş Öyrənmə Yanaşmalarının Müqayisəli Araşdırması

Ayxan Şirinzadə

Mühəndislik, Ondokuz Mayıs Universiteti, Samsun, Türkiyə

aykhan.shirinzade@bil.omu.edu.tr

Xülasə

Sənaye İnternet of Things (IIoT) tətbiqlərinin genişlənməsi ilə birlikdə etibarlı, enerji səmərəli və aşağı gecikməli simsiz kommunikasiya texnologiyalarına olan tələbat artmışdır. IEEE 802.15.4e standartının təqdim etdiyi Time Slotted Channel Hopping (TSCH) protokolu bu tələbləri qarşılamaq üçün güclü bir infrastruktur təmin edir. Lakin TSCH-nin effektivliyi zamanlama funksiyasının (Scheduling Function) düzgün seçilməsinə birbaşa bağlıdır. Ənənəvi statik zamanlama yanaşmaları dəyişkən IIoT trafik yükünə uyğunlaşa bilmir; bu da paket çatdırılma nisbətinin (PDR) azalmasına, gecikmənin artmasına və artıq enerji istehlakına gətirib çıxarır. Bu çatışmazlıqları aradan qaldırmaq məqsədilə son illərdə gücləndirilmiş öyrənmə (Reinforcement Learning, RL) əsaslı zamanlama funksiyaları intensiv şəkildə araşdırılmağa başlanmışdır. Bu tezis mövcud RL əsaslı TSCH zamanlama yanaşmalarını sistemli şəkildə incələyir. Araşdırmaya Q-Learning, Deep Q-Network (DQN), Double DQN (DDQN), Prioritized Experience Replay DQN (PER-DQN), Hierarchical RL (HRL), Proximal Policy Optimization (PPO) və çox-agentli Q-Learning kimi müxtəlif RL alqoritmlərini tətbiq edən on bir müasir çalışma daxil edilmişdir. Hər bir yanaşma trafik fərqi, hüceyrə ayırma mexanizmi, qazanc funksiyası dizaynı, dağıtım/mərkəzləşdirilmiş arxitektura və qiymətləndirmə metodologiyası baxımından müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, RL əsaslı zamanlayıcılar ənənəvi MSF və Orchestra kimi baseline protokollarla müqayisədə enerji istehlakında 2–3 dəfə azalma, PDR-da isə nəzərəcarpaq yaxşılaşma təmin etməkdədir. Bununla yanaşı, böyük ölçəkli şəbəkələrdə ölçəklənmə qabiliyyəti, Q-cədvəlinin genişlənməsi problemi və real donanım testlərinin məhdudluğu kimi açıq problemlər hələ də aktual olaraq qalır.

Açar sözlər: TSCH, IEEE 802.15.4e, Gücləndirilmiş Öyrənmə, IIoT, Zamanlama Funksiyası

Giriş

Sənaye İnternet of Things tətbiqləri istehsal, enerji, nəqliyyat və ağıllı infrastruktur sahələrini əhatə edərək sürətlə genişlənir; bu tətbiqlər eyni zamanda yüksək etibarlılıq, aşağı gecikmə və uzunmüddətli batareya ömrü tələb edir. IEEE 802.15.4e standartının təqdim etdiyi TSCH mexanizmi bu tələblərə cavab vermək üçün hazırlanmış olsa da, effektivliyi Zamanlama Funksiyasının düzgün seçilməsindən birbaşa asılıdır. Standart həll olan MSF statik xarakter daşdığından dəyişkən trafik şəraitində enerji israfına, yüksək gecikməyə və PDR-nin azalmasına səbəb olur (Nguyen-Duy et al., 2019).

2012–2022-ci illəri əhatə edən sistematik araşdırma göstərir ki, 59 trafik-həssas zamanlama həllinin yalnız kiçik bir hissəsi ML/RL əsaslıdır və bu sahə hələ yetərincə öyrənilməmişdir (Tabouche et al., 2023). Son illərdə DQN, HRL və çox-agentli Q-Learning kimi yanaşmaların TSCH zamanlamasına tətbiqi bu boşluğu doldurmağa başlamışdır. Bu tezis mövcud RL əsaslı TSCH zamanlama yanaşmalarını müqayisəli şəkildə araşdırır, üstünlük və çatışmazlıqlarını üzə çıxarır və gələcək araşdırma istiqamətlərini müəyyənləşdirir.

Tədqiqat metodu

Bu araşdırma üçün 2019–2025-ci illər arasında IEEE Xplore, MDPI və Elsevier kimi nüfuzlu platformalarda dərc olunmuş, RL əsaslı TSCH zamanlama funksiyalarını əhatə edən on bir tədqiqat seçilmişdir. Seçim meyarları aşağıdakılardır: (1) IEEE 802.15.4e/TSCH protokolundan istifadə, (2) RL alqoritminin zamanlama funksiyasına birbaşa tətbiqi, (3) PDR, enerji istehlakı və ya gecikmə üzrə kəmiyyətli nəticələrin mövcudluğu.

Hər bir tədqiqat dörd əsas baxımdan təhlil edilmişdir: RL alqoritmi növü, vəziyyət/əməliyyat/qazanc funksiyası dizaynı, arxitektura (mərkəzləşdirilmiş və ya dağıtıq) və qiymətləndirmə mühiti (simulasiya və ya real donanım). Cədvəl 1-də seçilmiş tədqiqatların əsas xüsusiyyətləri ümumiləşdirilir.

Cədvəl 1. Seçilmiş tədqiqatların əsas xüsusiyyətləri cədvəli

Tədqiqat	RL Alqoritmi	Arxitektura	Əsas Metrik	Platforma
Nguyen-Duy et al. (2019)	Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Enerji	Cooja, real testbed
Ben Yaala et al. (2025)	DQN, DDQN, PER-DQN	Dağıtıq	PDR	Simulasiya
Jurado-Lasso et al. (2024) — HRL-TSCH	HRL	Dağıtıq	Throughput, Enerji, Gecikme	Cooja
Pratama et al. (2022) — RL-SF	Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Gecikme	6TiSCH Simulator
Pratama et al. (2024) — LLQL-SF	Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Gecikme, Ədalət	OpenWSN, real 30 düyün
Zhang et al. (2025)	DDQN	Mərkəzi → Dağıtıq	PDR, Enerji, Gecikme	6TiSCH Simulator
Jurado-Lasso et al. (2024) — ELISE	DQN, A2C, PPO	Mərkəzləşdirilm iş (SDN)	Enerji, Gecikme, Etibarlılıq	FIT IoT-Lab
Park et al. (2020) — QL-TSCH	Çox-agentli Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Gecikme	Real donanım (ARM Cortex M4)
Ara et al. (2024)	Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Enerji, Gecikme	Simulasiya
Yang et al. (2025)	Q-Learning (çoxçəkili)	Mərkəzləşdirilm iş	PDR, Gecikme, Jitter	6TiSCH Simulator
Fawwaz et al. (2024)	Çox-agentli Q-Learning	Dağıtıq	PDR, Enerji, Gecikme	6TiSCH + FIT IoT-Lab

Nəticə

Araşdırma göstərir ki, RL əsaslı zamanlama funksiyaları TSCH şəbəkələrində statik baseline protokollarla müqayisədə əhəmiyyətli üstünlüklər təmin edir. Enerji istehlakı baxımından RL yanaşmaları MSF-dən 2–3 dəfə az enerji xərcləyir (Nguyen-Duy et al., 2019; Jurado-Lasso et al.). PDR baxımından isə demək olar ki, bütün çalışmalarda %95-dən yuxarı nəticələr əldə edilmişdir. LLQL-SF kimi daha inkişaf etmiş yanaşmalar, hüceyrə yerləşdirilməsini də optimallaşdıraraq gecikməni əlavə olaraq azaltmışdır (Pratama et al.). ELISE isə PPO alqoritmi vasitəsilə dəyişkən istifadəçi tələblərinə dinamik uyğunlaşma qabiliyyətini nümayiş etdirmişdir.

Bununla belə, sahədə bir sıra açıq problemlər qalmaqdadır. Çalışmaların böyük əksəriyyəti simulasiya mühitlərində qiymətləndirilmiş, real donanım testləri isə məhdud qalmışdır. Q-cədvəli əsaslı yanaşmalar böyük ölçəkli şəbəkələrdə yaddaş və hesablama baxımından ölçəklənmə çətinlikləri ilə üzləşir. Bundan əlavə, müxtəlif çalışmalarda

ortaq bir müqayisə bazasının (benchmark) olmaması nəticələrin obyektiv dəyərləndirilməsini çətinləşdirir (Tabouche et al., 2023). Gələcək araşdırmalarda bu boşluqların aradan qaldırılması, xüsusilə real sənaye mühitlərində böyük ölçəkli testlərin aparılması vacibdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Tabouche, A., Djamaa, B., & Senouci, M. R. (2023). Traffic-aware reliable scheduling in TSCH networks for Industry 4.0: A systematic mapping review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(4), 2834–2861. <https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3302157>
2. Nguyen-Duy, H., Pham-Van, T., Ngo-Quynh, T., Nguyen-Duc, T., Kojima, F., & Luongoudon, S. (2019). RL-TSCH: A reinforcement learning algorithm for radio scheduling in TSCH 802.15.4e. *Proceedings of the 2019 International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, Jeju, Korea, 227–231. <https://doi.org/10.1109/ICTC46691.2019.8939833>
3. Ben Yaala, S. (2025). Optimizing TSCH scheduling for IIoT networks using reinforcement learning. *Technologies*, 13(9), 400. <https://doi.org/10.3390/technologies13090400>
4. Jurado-Lasso, F. F. (2024). *HRL-TSCH: A hierarchical reinforcement learning-based TSCH scheduler for IIoT* (arXiv:2401.10368). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.10368>
5. Pratama, Y. H. (2022). RL-SF: Reinforcement learning based scheduling function for distributed TSCH networks. *Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)*, Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ICEIEC54567.2022.9835090>
6. Pratama, Y. H. (2024). Low-latency and Q-learning-based distributed scheduling function for dynamic 6TiSCH networks. *IEEE Access*, 12, 49694–49707. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3384869>
7. Zhang, Y. (2025). Self-learned generalized scheduling for 6TiSCH networks: An AI for science method. *Computer Networks*, 275, 111955. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2025.111955>
8. Park, H., Kim, H., Kim, S.-T., & Mah, P. (2020). QL-TSCH: A multi-agent reinforcement learning-based TSCH MAC scheduling scheme. *IEEE Access*, 8, 131250–131262. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010575>
9. Jurado-Lasso, F. F., Barzegaran, M., Jurado, J. F., & Fafoutis, X. (2024). ELISE: A reinforcement learning framework for optimizing slotframe size in TSCH IoT networks. *IEEE Systems Journal*, 18(2), 1068–1079. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2024.3371429>
10. Ara, T. (2024). Optimal slot utilization in IEEE 802.15.4e TSCH networks using reinforcement learning. *Proceedings of the 2024 IEEE 35th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Valencia, Spain. <https://doi.org/10.1109/PIMRC59610.2024.10817306>
11. Yang, W., Luo, H., Luo, S., Zhang, Z., Wang, X., & Liu, T. (2025). Efficient scheduling function for IETF 6TiSCH networks based on multiweight evaluation and improved Q-learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 12(17), 35731–35743. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3579390>
12. Fawwaz, D. Z. (2024). Intelligent parent change to improve 6TiSCH network transmission using multi-agent Q-learning. *IEEE Access*, 12, 102862–102879. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3433589>



İnformasiya Mərkəzlərində Kibertəhlükəsizlik Tədbirləri

Elgün İsayadə

Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt. Azərbaycan

elgunisazade81@gmail.com

Xülasə

Müasir rəqəmsal transformasiya şəraitində informasiya mərkəzləri (data centerlər) dövlət və özəl sektorun əsas texnoloji infrastrukturunu təşkil edir. Bu mərkəzlər böyük həcmdə məlumatların saxlanması, emalı və ötürülməsini təmin edir. Lakin mərkəzləşdirilmiş arxitektura və yüksək şəbəkə inteqrasiyası kibertəhlükələrin artmasına səbəb olur. İnformasiya mərkəzlərində kibertəhlükəsizliyin təmin edilməsi məlumatların məxfiliyi, bütövlüyü və əlçatanlığının qorunması baxımından strateji əhəmiyyət daşıyır. Məqalədə informasiya mərkəzlərində tətbiq olunan əsas kibertəhlükəsizlik tədbirləri, risk faktorları və texniki qoruma mexanizmləri təhlil edilmişdir. Eksperimental hissədə server və şəbəkə səviyyəsində təhlükəsizlik konfigurasiyalarının təsiri qiymətləndirilmişdir. Nəticələr göstərir ki, çoxsəviyyəli müdafiə mexanizmləri və davamlı monitoring informasiya mərkəzlərinin təhlükəsizlik dayanıqlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

***Açar sözlər:** İnformasiya Mərkəzi, Kibertəhlükəsizlik, Server Təhlükəsizliyi, Şəbəkə Qorunması, Risk İdarəetməsi*

Giriş

Müasir dövrdə rəqəmsal transformasiya prosesləri qlobal miqyasda dövlətlərin, korporasiyaların və cəmiyyətlərin inkişaf strategiyasının əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir. Elektron hökumət platformaları, rəqəmsal bankçılıq sistemləri, bulud texnologiyaları, böyük verilənlərin (Big Data) analitikası və süni intellekt əsaslı tətbiqlər geniş şəkildə informasiya mərkəzləri üzərində fəaliyyət göstərir. İnformasiya mərkəzləri (data centerlər) böyük həcmdə məlumatların toplanması, saxlanması, emalı və ötürülməsi üçün nəzərdə tutulmuş yüksək texnoloji infrastrukturudur və müasir informasiya cəmiyyətinin əsas dayaqlarından biri hesab olunur.

İnformasiya mərkəzlərinin funksionallığı yalnız serverlərin fiziki yerləşdirilməsi ilə məhdudlaşmır. Bu mərkəzlər şəbəkə avadanlıqları, marşrutlaşdırıcılar, firewall sistemləri, virtualizasiya platformaları, ehtiyat enerji təminatı, soyutma sistemləri və fiziki mühafizə mexanizmlərindən ibarət kompleks ekosistem təşkil edir. Xüsusilə bulud texnologiyalarının geniş yayılması nəticəsində məlumatların mərkəzləşdirilmiş infrastrukturda saxlanması kibertəhlükəsizlik məsələlərini daha da aktuallaşdırmışdır. Çünki mərkəzləşdirilmiş arxitektura həm effektiv idarəetmə imkanı yaradır, həm də potensial hücum nöqtələrinin sayını artırır.

Kibertəhlükələr son illərdə həm miqyas, həm də mürəkkəbliyi baxımından artmışdır. DDoS hücumları, ransomware (fidye proqramları), məlumat sızmaları, daxili təhlükələr (insider threat), sosial mühəndislik hücumları və sıfır-gün (zero-day) zəifliklər informasiya mərkəzlərinin üzləşdiyi əsas risklərdəndir. Bu hücumlar nəticəsində yalnız maliyyə itkiləri deyil, həm də reputasiya zərəri və milli təhlükəsizlik riskləri yarana bilər. Xüsusilə dövlət qurumlarına və maliyyə sektoruna məxsus informasiya mərkəzləri strateji obyektlər hesab olunur və onların təhlükəsizliyi milli təhlükəsizlik məsələsi kimi qiymətləndirilir.

Kibertəhlükəsizliyin təmin edilməsində əsas məqsəd informasiya aktivlərinin məxfiliyini (Confidentiality), bütövlüyünü (Integrity) və əlçatanlığını (Availability) qorumaqdır. Bu üç prinsip informasiya təhlükəsizliyinin fundamental modelini təşkil edir. İnformasiya mərkəzlərində bu prinsiplərin təmin olunması üçün həm texniki, həm də inzibati tədbirlər həyata keçirilməlidir. Texniki tədbirlərə şəbəkə segmentasiyası, çoxsəviyyəli firewall sistemləri, müdaxilənin aşkarlanması və qarşısının alınması sistemləri (IDS/IPS), məlumatların şifrələnməsi və ehtiyat nüsxələmə mexanizmləri daxildir. İnzibati tədbirlər isə təhlükəsizlik siyasətlərinin hazırlanması, risklərin qiymətləndirilməsi, audit prosedurları və personalın maarifləndirilməsini əhatə edir.

Beynəlxalq təcrübədə informasiya mərkəzlərinin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün müxtəlif standart və çərçivə sənədlərindən istifadə olunur. Bu kontekstdə ISO/IEC 27001 standartı informasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sisteminin qurulması üçün geniş tətbiq edilir. Həmçinin NIST tərəfindən hazırlanmış Kibertəhlükəsizlik Çərçivəsi risklərin identifikasiyası, qorunma, aşkarlama, cavabvermə və bərpa mərhələlərini sistemli şəkildə müəyyənləşdirir. Bu yanaşmalar informasiya mərkəzlərində təhlükəsizlik tədbirlərinin planlı və davamlı şəkildə həyata keçirilməsinə imkan yaradır.

Eyni zamanda, informasiya mərkəzlərində virtualizasiya və konteyner texnologiyalarının geniş tətbiqi yeni təhlükəsizlik çağırışları meydana çıxarmışdır. Virtual maşınların izolyasiyası, hipervizor səviyyəsində təhlükəsizlik, API zəiflikləri və bulud mühitində paylaşılan resursların qorunması xüsusi diqqət tələb edir. Bundan əlavə, uzaqdan idarəetmə sistemlərinin və avtomatlaşdırma platformalarının istifadəsi kibertəhlükəsizlik risklərini daha kompleks hala gətirir.

Beləliklə, informasiya mərkəzlərində kibertəhlükəsizlik yalnız texniki müdafiə vasitələrinin tətbiqi ilə məhdudlaşmır. Bu, strateji planlaşdırma, risk idarəetməsi və davamlı nəzarət mexanizmlərinin inteqrasiyasını tələb edən kompleks prosesdir. Müasir şəraitdə informasiya mərkəzlərinin dayanıqlılığı və təhlükəsizliyi rəqəmsal iqtisadiyyatın sabitliyinin əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Bu səbəbdən informasiya mərkəzlərində kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin elmi əsaslarla araşdırılması və təhlili xüsusi aktualıq kəsb edir.

Eksperimental hissə

Tədqiqatın eksperimental mərhələsində informasiya mərkəzinin model strukturu əsasında kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin effektivliyi qiymətləndirilmişdir. Məqsəd müxtəlif təhlükəsizlik konfigurasiyalarının sistemin dayanıqlılığına və risk səviyyəsinə təsirini müqayisəli şəkildə analiz etmək olmuşdur. Model olaraq virtual server mühiti, şəbəkə infrastrukturunu və məlumat bazası komponentlərindən ibarət simulyasiya edilmiş data center arxitekturası nəzərdən keçirilmişdir.

Eksperimental yanaşmada iki fərqli təhlükəsizlik ssenarisi tətbiq edilmişdir: minimal qoruma səviyyəsi və gücləndirilmiş çoxsəviyyəli müdafiə modeli.

Ssenari 1 – Minimal təhlükəsizlik konfigurasiyası

Bu modeldə aşağıdakı xüsusiyyətlər tətbiq edilmişdir:

1. Şəbəkə perimetri səviyyəsində yalnız bir firewall sistemi
2. Standart istifadəçi adı və parol əsaslı autentifikasiya
3. Məlumatların qismən və ya zəif şifrələnməsi
4. Mərkəzləşdirilmiş loq monitorinqinin olmaması
5. Ehtiyat nüsxələmənin qeyri-müntəzəm aparılması

Bu ssenaridə simulyasiya edilmiş hücumlar (brute-force giriş cəhdləri, DDoS yüklənməsi və zərərli proqram yerləşdirilməsi) nəticəsində sistemin zəif nöqtələri müəyyən edilmişdir. Xüsusilə zəif parol siyasəti və real vaxt monitorinq mexanizminin olmaması səbəbindən

icazəsiz giriş cəhdlərinin aşkarlanması gecikmişdir. Bundan əlavə, ehtiyat nüsxələmə mexanizminin qeyri-sistemli olması məlumat itkisi riskini artırmışdır.

Ssenari 2 – Gücləndirilmiş çoxsəviyyəli təhlükəsizlik modeli

Bu modeldə isə “Defense in Depth” prinsipinə əsaslanan kompleks təhlükəsizlik arxitekturası tətbiq edilmişdir:

1. Şəbəkə səviyyəsində çoxqatlı firewall və IDS/IPS sistemi
2. Çoxfaktorlu autentifikasiya (MFA) mexanizmi
3. AES əsaslı tam məlumat şifrələnməsi
4. Real vaxt rejimində loq analizi və SIEM sistemi
5. Müntəzəm backup və Disaster Recovery planı
6. Şəbəkə segmentasiyası və daxili trafik nəzarəti

Simulyasiya zamanı eyni tip hücum ssenariləri tətbiq edilmiş və sistem reaksiyası müşahidə edilmişdir. Nəticələr göstərmişdir ki, çoxsəviyyəli müdafiə modeli hücumların böyük hissəsini erkən mərhələdə aşkarlamış və bloklamışdır. IDS/IPS sistemi şübhəli trafik axınını müəyyən etmiş, MFA isə icazəsiz giriş cəhdlərinin qarşısını effektiv şəkildə almışdır.

Əlavə olaraq, loq analiz mexanizmi vasitəsilə şəbəkədə anomaliya davranışları vaxtında müəyyən edilmiş və potensial təhlükələr neytrallaşdırılmışdır. Ehtiyat nüsxələmə mexanizmi isə məlumatların bütövlüyünü və bərpasını təmin etmişdir. Bu modeldə xidmətin fasiləsizliyi qorunmuş və sistem performansında ciddi azalma müşahidə olunmamışdır.

Müqayisəli qiymətləndirmə

Aparılmış eksperimental analiz göstərmişdir ki, minimal təhlükəsizlik konfigurasiyası tətbiq olunan informasiya mərkəzlərində hücumlara qarşı həssaslıq səviyyəsi yüksəkdir. Zəif autentifikasiya və monitoring çatışmazlığı risk faktorlarını artırır.

Əksinə, çoxsəviyyəli müdafiə modeli tətbiq edilən ssenaridə hücumların aşkarlanma sürəti yüksəlmiş, risk səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə azalmış və sistemin ümumi dayanıqlılığı artmışdır. Xüsusilə şəbəkə segmentasiyası və davamlı yenilənmə siyasəti daxili və xarici təhlükələrin təsirini minimuma endirmişdir.

Beləliklə, eksperimental nəticələr sübut edir ki, informasiya mərkəzlərində təhlükəsizlik tədbirlərinin sistemli və inteqrasiya olunmuş şəkildə tətbiqi kiberrisiklərin azaldılmasında həlledici rol oynayır. Təqətlü müdafiə mexanizmləri müasir kibertəhlükələr qarşısında yetərli hesab edilə bilməz və kompleks yanaşma zəruri şərt kimi çıxış edir.

Nəticə

Aparılmış təhlillər sübut edir ki, informasiya mərkəzlərində kibertəhlükəsizlik yalnız texniki məsələ deyil, həm də strateji idarəetmə məsələsidir. Hücumların əksəriyyəti zəif konfigurasiya, köhnəlmiş proqram təminatı və monitoringin olmaması səbəbindən baş verir.

Müasir yanaşma “Defense in Depth” prinsipi əsasında qurulmalıdır. Bu modeldə təhlükəsizlik şəbəkə, server, tətbiq və istifadəçi səviyyəsində paralel şəkildə təmin edilir. Bundan əlavə, risklərin davamlı qiymətləndirilməsi və audit mexanizmləri informasiya mərkəzlərinin dayanıqlığını artırır.

Beləliklə, kibertəhlükəsizlik tədbirləri informasiya mərkəzlərinin fasiləsiz və etibarlı fəaliyyətinin əsas şərtidir.

Təkliflər:

1. İnformasiya mərkəzlərində çoxsəviyyəli təhlükəsizlik arxitekturası tətbiq olunmalıdır.
2. Güclü şifrələmə və çoxfaktorlu autentifikasiya məcburi hala gətirilməlidir.
3. Server və şəbəkə sistemləri mütəmadi olaraq yenilənməli və təhlükəsizlik auditi

aparılmalıdır.

4. Real vaxt monitorinq və insidentlərə operativ cavab mexanizmi qurulmalıdır.

5. Risk idarəetmə planı və ehtiyat nüsxələmə siyasəti sistemli şəkildə həyata keçirilməlidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Stallings, W. (2022). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice* (8th ed.). Pearson.
2. Whitman, M. E., & Mattord, H. J. (2021). *Principles of Information Security* (7th ed.). Cengage Learning.
3. Kim, D., & Solomon, M. G. (2016). *Fundamentals of Information Systems Security*. Jones & Bartlett Learning.
4. ENISA (European Union Agency for Cybersecurity). (2020). *Cloud Security Guidelines for Critical Infrastructure*.
5. Azerbaijan National Cyber Security Center: <https://ncsc.gov.az/about-page>
6. Crocusoft, “Kibertəhlükəsizlik strategiyaları”: <https://crocusoft.com/az/Blog/Details/kiberthluksizlik-strategiyalar>
7. IDDA, “Azərbaycan Kibertəhlükəsizlik Mərkəzi”: <https://idda.az/az/reqemsal-seristelerin-inkisafi/teqaud-proqramlari/azerbaycan-kibertehluksizlik-merkezi>



Cybersecurity Framework for Patient Data Protection in Mobile Intelligent Health Monitoring Systems

Emin Tavakkulov

*Faculty of Information Technologies and Management,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
e1000.tavakkulov@gmail.com*

Abstract

Although the recent rapid development of smart healthcare systems has played an effective role in the treatment of chronic diseases and the detection of latently developing diseases, on the other hand, a number of serious difficulties arise regarding the protection of patients' medical data. This study presents a multi-layered cybersecurity framework designed for smart mobile health monitoring systems that collect, transmit, and process medical data, including vital signs reported by patients. The proposed framework combines AES-256 data-at-rest encryption, Transport Layer Security (TLS) 1.3 protocol encryption, multi-factor authentication (MFA), and role-based access control (RBAC) to protect users' (patients') vital medical data on web, Android, and iOS platforms. The framework also includes GDPR-compliant data governance, open user consent management, and secure API communication between the client and the cloud infrastructure. A standards-based, structured security architecture is not only an essential component of a smart healthcare system but also plays a critical role in gaining users' confidence that their medical data will be protected from cyberattacks. The framework includes preventing unauthorized intrusions, unauthorized access to medical data, and cyberattacks on medical devices.

Keywords: Cybersecurity; Patient Data Protection; SSL/TLS; Mobile Health Systems; GDPR.

Introduction

Thus, the development of mobile healthcare systems with the support of artificial intelligence is leading to innovative changes in medicine. Despite these advantages, the implementation of intelligent systems poses several challenges. The most important of these is undoubtedly the possibility of users' medical data being exposed to cyberattacks. When such a threat arises, this data can be blackmailed and become commercially valuable, making it attractive to hackers. Serious legal and technical measures are required to eliminate this threat and protect confidential information (Coventry & Branley, 2018).

Research Method

Thus, the cybersecurity framework is built on three layers of protection: client (mobile), intelligent processing and cloud infrastructure layers. Each layer is equipped with a different security mechanism against cyberattacks (see Table 1).

At the client layer, we will use the TLS 1.3 standard for all data transmissions between the Web or mobile (Android or iOS) application and the Back-end API. This is considered the gold standard for transport-layer encryption. Thus, users will only be able to enter their medical data into the application after signing the security agreement provided to them. According to this agreement, the application will only transmit and process users' medical data over servers with the necessary SSL/TLS certificates, which will help prevent man-in-the-middle (MITM)

attacks. Simultaneously, security measures such as local storage of cached health data and AES-256 symmetric encryption with keys managed through the device's hardware-supported key store (Android Keystore/iOS Secure Enclave) will also be used. This ensures that confidential data are not accessible even if the physical device used by the user is stolen (Stallings, 2018). In the intelligent processing layer, a scheme combining multifactor authentication (MFA) and time-based one-time passwords (TOTP) is used for user authentication. Thus, role-based access control (RBAC) at the API level controls access to data, and system administrators distinguish between patients and healthcare providers. While patients only have access to their own medical data, the system allows doctors or healthcare professionals to access the data provided to them by the users with whom they interact. System administrators, in turn, retain the necessary configuration authority without accessing users' confidential data. Any violation of the allocated privileges limits the blast radius of the contract (Zhang et al., 2020).

At the cloud infrastructure layer, personal data entered by users, including initial diagnostic results based on login symptoms and physiological data and processed by artificial intelligence, are stored as AES-256 encrypted binary objects in a database. Encryption keys are managed by a secret key management service isolated from the main application infrastructure, which allows for the detection and restriction of unauthenticated API service accounts (Coventry and Branley, 2018).

Table 1. Cybersecurity mechanisms and corresponding standards in the proposed framework.

Security Mechanism	Layer	Threat Mitigated	Standard
TLS 1.3 + Certificate Pinning	Client ↔ Cloud	MITM, eavesdropping	RFC 8446
AES-256 (at rest)	Cloud storage	Data breach, theft	NIST FIPS 197
MFA + TOTP	Client auth	Credential compromise	RFC 6238
RBAC	API / Cloud	Unauthorised access	NIST SP 800-162
GDPR consent management	Application layer	Regulatory non-compliance	GDPR Art. 7

Conclusion

In conclusion, we can say that the presented multilayer cybersecurity framework can provide transport-level encryption, is managed based on user consent, and has the potential to ensure cybersecurity in mobile smart healthcare systems. This framework reflects TLS 1.3, AES-256 encryption, MFA, RBAC, and GDPR-compliant management.

References

1. Coventry, L., & Branley, D. (2018). Cybersecurity in healthcare: A narrative review of trends, threats and ways forward. *Maturitas*, 113, 48–52.
2. Stallings, W. (2018). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice* (7th ed.). Pearson Education.
3. Zhang, L., Xue, M., & Liu, Q. (2020). Security and privacy challenges in healthcare cloud computing. *IEEE Access*, 8, 102350–102372.



Davamlı Şəhər Logistikasının Formalaşdırılması: Beynəlxalq Təcrübə və Tətbiq İmkanları

Nərmin Orucova

SABAH Qrupları, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

nerminoval9@gmail.com

Xülasə

Bu tədqiqat davamlı şəhər logistikasının formalaşdırılması, beynəlxalq təcrübənin təhlili və bu yanaşmaların tətbiq imkanlarının araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Dünya əhalisinin davamlı artması, kənd yerlərindən şəhərlərə miqrasiya və şəhərlərdə mövcud əhali sıxlığı ciddi sosial, iqtisadi və ekoloji problemlər yaratmaqdadır. Davamlı şəhər təşəbbüslərinin həyata keçirilməsi milli hökumətlər üçün xeyli maliyyə öhdəlikləri qoya bilər. Bundan əlavə, bu təşəbbüslər sosial baxımdan davamlı şəhər həyatının fundamental dinamikasına və rifahına mənfi təsir göstərmək potensialına malikdir. Cəmləmiş şəhər əhalisinin iqtisadi və sosial fəaliyyətlərindən irəli gələn ekoloji problemlər şəhər logistikasının cəmiyyətin həyat səviyyəsinə əhəmiyyətli təsirini vurğulayır. Həm fərdi, həm də kollektiv şəkildə şəhər həyatı ilə bağlı artan çətinliklər və xərclərlə mübarizə aparən cəmiyyətlər bu problemlərin aradan qaldırılması üçün fəal şəkildə həll yolları axtarırlar. Yaşaya bilən bir şəhərə nail olmaq üçün həm yerli, həm də mərkəzi hökumətlərin davamlı şəhər logistika strategiyası müəyyən etməsi vacibdir. Bu strategiya elmi cəhətdən əsaslandırılmış nəticələrə və ictimai faydalara əsaslanmalıdır. Bu strateji yanaşma, beynəlxalq standartlara uyğun olaraq şəhər logistika fəaliyyətlərinə həll yolları hazırlamaqla, səs-küy, torpaq, hava, işıq, su, bərk tullantıların çirklənməsi və nizamsız nəqliyyat axını kimi cəmiyyət həyatına təsir edən çoxsaylı mənfi ətraf mühit təsirlərini aradan qaldırılmalıdır. Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, davamlı şəhər logistikasının uğurlu tətbiqi üçün inteqrasiya olunmuş planlaşdırma, müasir texnologiyaların tətbiqi və dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı əsas şərtlərdir. Bu təcrübələrin Bakı kimi sürətlə inkişaf edən şəhərlərdə tətbiqi nəqliyyat sisteminin optimallaşdırılması, ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılması və şəhər həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından geniş imkanlar yaradır.

Açar sözlər: Logistika, Davamlı Şəhər, Beynəlxalq Nəqliyyat

Giriş

Şəhərlər qlobal miqyasda müasir sivilizasiyanın əsas tərkib hissəsini təmsil edir və konsentrasiya olunmuş sosial və iqtisadi fəaliyyət üçün qovşaq rolunu oynayır (Mori 2012, s. 103). Dünya əhalisinin böyük əksəriyyəti şəhər yerlərində yaşayır, bu da əsasən təhsil, məşğulluq, səhiyyə, mədəni əlaqələr, fərdi inkişaf və təhlükəsizlik də daxil olmaqla geniş çeşidli ehtiyacları ödəmək üçün təklif etdikləri üstün şəraitə bağlıdır. 1800-cü ildə dünya əhalisinin yalnız 3%-i şəhər yerlərində yaşasa da, bu rəqəm 2010-cu ildə 51,6%-ə, 2020-ci ildə 56,2%-ə yüksəlmiş və 2050-ci ilə qədər sürətlə 86,6%-ə çatacağı proqnozlaşdırılır. Kənd yerlərindən şəhər yerlərinə artan miqrasiya fenomeni şəhərlərdə əhali artımına töhfə verən əsas amil kimi müəyyən edilmişdir. Bu əhali artımının öz növbəsində iqtisadi artımı sürətləndirdiyi və bu da öz növbəsində mal və xidmətlərə tələbatın artmasında əhəmiyyətli amil kimi müəyyən edildiyi göstərilmişdir (Tepecik, 2024). Tələbatın bu artması şəhər nəqliyyatının artmasına səbəb olmuş və bununla da şəhər hərəkətliliyi baxımından ciddi çətinliklər yaratmışdır. Bu çətinliklərə tıxac problemləri, şəxsi nəqliyyatın dominantlığı, hava keyfiyyəti, səs-küy və enerji

asililiği və digərləri daxildir. (Duarte, 2016, s. 73) Nəticə etibarilə, artan çirklənmə, yüksək enerji xərcləri, yol hərəkəti təhlükəsizliyinin azalması və vaxt itkisi kimi amillər şəhərlərdə logistika problemlərini daha da artırır.

Logistika, müştəri ehtiyaclarını ödəmək üçün mənşə nöqtəsi ilə son istehlak nöqtəsi arasında malların, xidmətlərin və məlumatların səmərəli və effektiv irəli və tərs axınını və saxlanmasını planlaşdıran, tətbiq edən, idarə edən və idarə edən təchizat zənciri prosesinin əsas komponenti kimi müəyyən edilir (Tseng, 2005). Bu baxımdan, logistika fəaliyyətlərindəki irəliləyişlər millətlərin iqtisadi inkişafı üçün çox vacibdir. Şəhər imkanlarının artırılması iqtisadi artımı və davamlı inkişafı asanlaşdıran əsas amil kimi müəyyən edilmişdir. Şəhər logistikası konsepsiyası iqtisadi, ekoloji və kommertiya sahələri də daxil olmaqla bir çox sahədə şəhərlərin inkişafı ilə sıx bağlıdır. Şəhər logistikası istehsal, istehlak və paylama tələblərinin yerinə yetirilməsini asanlaşdıran bütün fəaliyyətləri əhatə edir. Tək bir şəhər daxilində müxtəlif iqtisadi sektorların mövcudluğu çoxsaylı təchizat zəncirlərinin mövcudluğuna səbəb olur və bununla da şəhər logistikasının mürəkkəbliyinə və müxtəlifliyinə töhfə verir (Giret 2019, s. 186). Şəhər yük daşımaları logistikasının mürəkkəblikləri çoxşaxəlidir; buna baxmayaraq, bütün şəhər ərazilərində ortaql tələb malların səmərəli paylanmasını təmin etmək və iqtisadi, sosial və ekoloji xərclər də daxil olmaqla əməliyyatların ümumi dəyərini azaldacaq innovativ planları təşviq etməkdir. Əsas məqsəd logistika şirkətlərinin və şəhər mobilliyi ilə məşğul olan digər maraqlı tərəf qruplarının maraqları arasındakı uyğunsuzluğu aradan qaldırmaqdır. Bu, yük paylanması sektorunda həllərin məqbuluğunu təmin etməkdə vacib elementdir (Macário 2023, s. 4251).

Davamlılıq "şəhər logistikası" konsepsiyasının ən əhəmiyyətli təməllərindən biri kimi tanınır və axın idarəetməsinin fundamental komponentidir (Farchi, 2022). Son onilliklərdə elektron ticarətin meydana gəlməsi şəhər logistika sistemlərinə qoyulan tələblərin artmasına səbəb oldu və bununla da əhəmiyyətli davamlılıq problemlərini vurğuladı. Yeni koronavirus (SARS-CoV-2) pandemiyasının meydana gəlməsi bu məsələni daha da mürəkkəbləşdirdi və bununla da elektron ticarət və sosial davamlılıq arasındakı əlaqənin hərtərəfli araşdırılmasının vacibliyini vurğuladı. Bu proses cəmiyyətin ehtiyaclarına və davamlı inkişaf məqsədlərinə uyğun bir logistika sisteminin əhəmiyyətini ön plana çıxardı. Səmərəli şəhər logistika sisteminin yaradılmasının iqtisadi artımı dəstəklədiyi, lazımsız əməliyyat xərclərini azaltmaqla səmərəliliyi artırdığı və investisiya mühitini yaxşılaşdırdığı nümayiş etdirilib. Bundan əlavə, bu fenomenin şəhər daxilində işsizlik səviyyəsini azalda biləcəyi və xarici investisiyaları təşviq etməklə regional iqtisadiyyatı yaxşılaşdırma biləcəyi nümayiş etdirilib (İman, 2019). Nəticə etibarilə, şəhər logistikasının səmərəli idarə olunması şəhər ərazilərində iqtisadi dayanıqlılığı və həyat keyfiyyətini təmin etməkdə əsas amil kimi qəbul edilə bilər. Nəticə etibarilə, şəhər logistikasının mənfi təsirlərini azalda və ümumi fəaliyyətini artırma biləcək innovativ həlləri araşdırmaq vacibdir (Pourmohammad, 2024).

Şəhər logistikası sahəsi 20 ildən çoxdur ki, Fransa və Avropada, 40 ildən çoxdur ki, isə ABŞ-da tədqiqatçılar və praktiklər üçün maraqlı mövzusu olmuşdur. Şəhər logistikasının inkişafı bir sıra amillərlə məhdudlaşır. Bu maneələrə kök salmış vərdişlər və sektor daxilində dəyişiklikləri qəbul etmək istəməməsi, texnoloji bilik boşluqları, planlaşdırmada özəl sektorun əsas rolu və yol hərəkəti məhdudiyətləri daxildir. Bu çətinliklər şəhər logistika sistemlərində səmərəliliyin artırılmasına və modernləşdirilməsinə mane olur. Bundan əlavə, təriflərdə və təklif olunan metodlarda vahidliyin olmaması, iştirakçıların müxtəlifliyi və mövcud metodların çoxşaxəli təbiəti məsələnin həllini çətinləşdirir (Gonzalez, 2018).

Bu tədqiqatın məqsədi beynəlxalq təcrübə və tətbiq imkanlarından faydalanaraq davamlı şəhər logistikasının mümkünlüyünü müəyyən etməkdir. Bu kontekstdə davamlılıq meyarları ədəbiyyat icmalı vasitəsilə müəyyən edilmiş və lazımi məlumatlar toplanmışdır.

Tədqiqat Metodu

Bu tədqiqatda əsasən keyfiyyətli elmi tədqiqat metodologiyalarından istifadə edilmişdir. Tədqiqat zamanı davamlı şəhər logistikasının nəzəri əsasları, beynəlxalq təcrübələr və tətbiq imkanları sisteməlik şəkildə təhlil edilmişdir. Mövzu ilə bağlı logistika və şəhərsalma sahəsində aparılan tədqiqatlarla yanaşı, həm yerli, həm də beynəlxalq elmi ədəbiyyatın hərtərəfli araşdırılması aparılmışdır. Daha sonra bu tədqiqatların nəticələri müqayisəli təhlilə məruz qalmışdır.

Tədqiqat prosesinin ayrılmaz hissəsi kimi ədəbiyyat icmalından geniş istifadə edilmişdir. Bu metod davamlı şəhər logistikası anlayışını, onun iqtisadi, sosial və ekoloji ölçülərini müəyyən etmək üçün istifadə edilmişdir. Bundan əlavə, mövzunun hərtərəfli anlaşılmasını təmin etmək üçün beynəlxalq təcrübələr araşdırılmışdır. Amsterdam, London, Paris və Tokio kimi böyük şəhərlərdə tətbiq olunan logistika modelləri üzrə müqayisəli təhlil aparılmışdır. Təhlil bu modellərin üstünlüklərini müəyyən etmək və onların tətbiqi barədə hərtərəfli məlumat vermək məqsədi daşıyırdı. Müqayisəli təhlil metodundan da istifadə edilmişdir. Müxtəlif ölkələrdə şəhər logistika sistemlərinin müqayisəli təhlili aparılmış, aşağı emissiya zonalarının, elektrikli nəqliyyat vasitələrinin, rəqəmsal logistika platformalarının və şəhər konsolidasiya mərkəzlərinin effektivliyini əhatə etmişdir. Bu yanaşma, xüsusilə Bakıya diqqət yetirməklə, beynəlxalq təcrübələrin Azərbaycan üçün potensial tətbiqini müəyyən etmək üçün istifadə edilmişdir.

Eyni zamanda, sistemli yanaşma və analitik təhlil metodlarından istifadə etməklə şəhər logistikasının davamlı inkişaf kontekstində əhəmiyyəti araşdırılmışdır. Tədqiqat nəticələrinin hərtərəfli nəzərdən keçirilməsindən sonra bir sıra təkliflər hazırlanmışdır. Bu təkliflər inteqrasiya olunmuş planlaşdırma, dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı və şəhər logistikasını təkmilləşdirmək üçün müasir texnologiyaların istifadəsinə aid idi.

Ədəbiyyat İcmalı

Son illərdə getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edən şəhər logistikası mövzusu müxtəlif elmi sahələrlə bağlıdır. Şəhər hərəkətlərini anlamaq və təhlil etmək üçün fənlərarası yanaşma, eləcə də birgə səy tələb olunur. Şəhər logistikası sahəsində aparılan tədqiqatlarda müvafiq maraqlı tərəflərin resursları bölüşmək istəməməsi və informasiya sistemlərindəki çatışmazlıqlar müəlliflərin üzləşdiyi əhəmiyyətli çətinliklər kimi müəyyən edilmişdir (İpekçi 2021, s. 109). Şəhər logistikası mövzusunda çoxsaylı tədqiqatlar aparılmışdır. Akben və Bahçeci (2018, s. 217) öz əsas tədqiqatlarında şəhər logistikasının şəhərlərin inkişafında əsas rolunu vurğulamaq üçün fənlərarası yanaşmadan istifadə etmişlər. Kılıç və Turqut (2019, s. 151) öz tədqiqatlarında İstanbul və Atatürk Hava Limanını tutum və şəhər logistikası baxımından müqayisə edərək qiymətləndirmişlər. Şəhər logistikası ilə logistika kəndlərinin fəaliyyəti arasındakı əlaqəni müəyyən etmək məqsədilə İman (2019, s.46) Elazığ əyalətində 276 biznes işçisi arasında sorğu keçirmiş və əldə edilən məlumatları təhlil etmişdir. Nəticə etibarilə, o, şəhər logistikası ilə logistika kəndlərinin fəaliyyəti arasında statistik cəhətdən əhəmiyyətli müsbət əlaqənin mövcudluğunu irəli sürmüş və bunun çox güclü olduğunu düşünmüşdür.

Duarte və digərləri (2016, s. 72) Lissabonda dayanıqlı şəhər logistika tətbiqləri çərçivəsində batareyalı elektrikli nəqliyyat vasitələrinin uyğunluğunu qiymətləndirdilər. Təhlil göstərdi ki, nəqliyyat vasitələri texnologiyasındakı keçid logistika əməliyyatlarının göstəricilərinə təsir göstərməyib. Bundan əlavə, tədqiqat batareyalı elektrikli nəqliyyat vasitələri texnologiyasının müəyyən şəhər logistika tətbiqləri üçün uyğunluğunu təsdiqlədi. Morfoulaki və digərləri (2016, s. 671) kiçik və orta ölçülü şəhərlərdə şəhər logistika prosedurlarını təkmilləşdirmək üçün hazırlanmış bir sıra xüsusi siyasət tədbirlərini təqdim etdilər. Bu tədbirlər Yunanıstanın Serres şəhəri üçün Davamlı Şəhər Logistika Planının (SULP) hazırlanması çərçivəsində çoxmeyarlı təhlilə məruz qaldı. Giret və digərləri (2019, s. 181) şəhər ərazilərində çatdırılma marşrutları və planları üçün bir sıra dayanıqlı Əsas Performans Göstəricilərinin (KPI) sənədləşdirilməsini və kəmiyyətləndirilməsini asanlaşdıran bir çərçivə təklif etdilər. Bir başqa çalışmada şəhər logistikası sahəsindəki problemlərin bir sıra həll

yollarına istinad edərək, ağıllı texnikaların ağıllı və dayanıqlı şəhər logistika tətbiqlərinin inkişafına kömək edə biləcək əsas yanaşmalardan biri olduğunu irəli sürdü. Dossou və Vermersch (2021, s. 479) yol nəqliyyatına alternativ bir həll yolu hazırlamaq məqsədi ilə yerli hökumətlər, şirkətlər və vətəndaşlar da daxil olmaqla bütün maraqlı tərəfləri birləşdirən birgə yaradıcılıq metodologiyasından istifadə edən bir tədqiqat işini təsvir etdilər. Bu həlləri simulyasiya etmək və optimallaşdırmaq üçün təklif etdikləri qərar dəstəyi vasitəsinin ideal dayanıqlı şəhər logistika modelinin yaradılmasına töhfə verəcəyi ehtimal edilir. Tian və digərləri (2021, s. 2243) şəhər logistikası kontekstində müştəri məmnuniyyəti üçün blokçeyn əsaslı qiymətləndirmə yanaşması təklif etdilər. Bu məqsədlə, şəhər logistikasında müştəri məmnuniyyətinə təsir edən dörd meyar müəyyən etməklə gələcəkdə müştəri məmnuniyyətini proqnozlaşdırmaq üçün Uzun Qısamüddətli Yaddaş (LSTM) maşın öyrənmə alqoritmi qəbul edildi.

Davamlı Şəhər Logistikası

Şəhər Logistikası konsepsiyası şəhər infrastrukturunu və digər obyektləri logistika baxımından qiymətləndirmək üçün hazırlanmışdır. Bu yanaşmanın məqsədi şəhərlərin yükləmə, daşınma, boşaltma, saxlama tutumları və nəqliyyat imkanları kimi logistika performans amillərini təhlil etməklə yaşayış məntəqələrinin güclü və zəif tərəflərini, imkanlarını və təhdidlərini müəyyən etməkdir. Şəhər logistikası, canlı və ya cansız olmasından asılı olmayaraq, bütün nəqliyyat proseslərinin düzgün yerinə yetirilməsini təmin edən planlaşdırılmış proseslər, tətbiqlər və fəaliyyətlər toplusu kimi müəyyən edilə bilər. Buna şəhərin bütün seqmentləri nəzərə alınmaqla ən uyğun marşrutları və nəqliyyat vasitələrini müəyyən etməklə nail olunur. Bu sistemin əsas məqsədi nəqliyyat, hərəkət və nəqliyyat proseslərinin səmərəliliyini artırmaqdır (Çağlayan 2023, s. 16).

Logistika sektorunun ən çox qazıntı yanacaqlarından istifadə etdiyi, nəqliyyatın isə ən əhəmiyyətli istehlak sahəsi olduğu müəyyən bir həqiqətdir. Dünya yük daşımalarında xarici ticarətin əksəriyyəti dəniz yolu ilə həyata keçirilsə də, avtomobil nəqliyyatı ikinci yerdədir. Qazıntı yanacaqlarının həddindən artıq istehlakının ətraf mühitə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərdiyi və bir sıra təcili problemlərin yarandığı sübut edilmişdir. Müasir şəraitdə bir çox ölkələr karbon emissiyalarının azaldılması üçün alternativ strategiyalar həyata keçirir və eyni zamanda ətraf mühitin dayanıqlılığına da diqqət yetirirlər. Bu məqsəd alternativ nəqliyyat texnologiyalarının istifadəsinin genişlənməsində özünü göstərir. Son illərdə davamlı təcrübələr iqlim dəyişikliyi və qlobal istiləşmə kimi problemlərin aradan qaldırılması səylərində mərkəzi rol oynamışdır (Tepecik 2024, s. 262). Şəhər logistikasının məqsədi şəhərlərin səmərəliliyini və effektivliyini artırmaq, logistika proseslərinin və fəaliyyətlərinin mənfi təsirlərini azaltmaq və onların davamlı inkişafını təşviq etməkdir (Tian 2021, s. 2235).

Davamlı şəhər logistikası konsepsiyası, iqtisadi, ekoloji və sosial dayanıqlılıq prinsiplərinə uyğun olaraq şəhərlərdə mal və xidmət axınını optimallaşdırmağı hədəfləyən bir yanaşma kimi müəyyən edilmişdir (Jones, 2019). Bu konsepsiyanın məqsədi şəhərlərin mürəkkəb logistika proseslərini ekoloji cəhətdən dayanıqlı, sosial cəhətdən uyğun və səmərəli etməkdir. Davamlı şəhər logistikasının tətbiqi üçün çoxlu strategiya təklif edilmişdir. Bunlara elektrik nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi, ağıllı nəqliyyat sistemlərinin inteqrasiyası, dəmir yolu sərnişin xidmətlərinin inkişafı, ortaqlıq nəqliyyat modellərinin qəbulu, yaşıl paylama mərkəzlərinin yaradılması, aşağı emissiyalı və ekoloji cəhətdən təmiz qablaşdırmağa üstünlük verilməsi və şəhər transformasiyası və planlaşdırma təcrübələri daxildir. Bu metodlar şəhər logistika proseslərinin dayanıqlılığını və səmərəliliyini artırmaq üçün vacibdir (Çağlar 2023, s. 338). Davamlı Şəhər Logistikası Planı həm şəhər yük daşımaları maraqlı tərəfləri, həm də bütövlükdə cəmiyyət üçün optimal həlləri təşviq etmək üçün hazırlanmış bir təşəbbüsdür. Buna iqtisadi səmərəliliyi ekoloji dayanıqlılıq və sosial faydalarla balanslaşdırmaqla nail olunur.

Beynəlxalq Təcrübə və Tətbiq İmkanları

Qloballaşma kontekstində dünya getdikcə daha çox bir-biri ilə əlaqəli olur və bu da logistika əməliyyatlarının biznes üçün əhəmiyyətinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Bu, bu əməliyyatların şirkətlərə pozucu mühitdə rəqabət üstünlüyü qazanmağa imkan verməsi ilə əlaqədardır. İstehsal və paylamaya əsaslanan ənənəvi logistika fəaliyyətləri əsasən xərclərin minimuma endirilməsi və əməliyyat fəaliyyətlərinin optimallaşdırılması ilə xarakterizə olunur və bununla da biznesin strateji məqsədlərinə çatmasına kömək edir. Lakin, bu əsrdə beynəlxalq təşkilatlar, qlobal bizneslər və logistika firmaları təbiətin və ətraf mühitin qorunmasının indi onların ən fundamental və həyati vəzifələrindən biri olduğunu anladılar. Bu dərk logistika proseslərində bir sıra dəyişikliklərə səbəb olmuşdur (Bedük, 2012s. 45).

Qlobal miqyasda yaşıl logistika tətbiqlərinin tətbiqi, xüsusilə Avropa İttifaqı, ABŞ və Yaponiyada effektiv hüquqi tənzimləmələrin yaradılması vasitəsilə sürət qazanır. Yaşıl logistikanın şirkət və şəhər səviyyəsində tətbiqini nümayiş etdirmək üçün IBM məhsul gəlirlərinin faydalarını artırmaq üçün fəaliyyətə başladı. Bunlara icarə müddəti bitmiş məhsulların toplanması, qaytarılmış sifarişlərin qəbulu və qiymətləndirilməsi, ətraf mühit tullantılarının toplanması və təkrar istifadə variantları yaratmaq məqsədilə atılmış məhsulların toplanması daxildir. Bu, həm iqtisadi fayda, həm də təbii sərvətlərin qorunması ilə nəticələnib (Serkan 2018, s. 475).

Beynəlxalq təcrübənin araşdırılması göstərir ki, bir sıra inkişaf etmiş şəhərlər bu sahədə modelləri uğurla tətbiq ediblər. Məsələn, Amsterdamda yük daşımalarının səmərəliliyini artırmaq üçün velosiped əsaslı logistika sistemlərindən geniş istifadə olunur. Bu modelin karbon emissiyalarını azaltdığı və eyni zamanda dar küçələrdə daha səmərəli çatdırılma əməliyyatlarını asanlaşdırdığı nümayiş etdirilib. Əksinə, Londonda tətbiq olunan "Aşağı Emissiya Zonası" və "Ultra Aşağı Emissiya Zonası" siyasətlərinin yüksək emissiyalı nəqliyyat vasitələrinin şəhər mərkəzinə girişini məhdudlaşdırmaqla ətraf mühitin vəziyyətini yaxşılaşdırdığı göstərilib (Çamlıca 2014, s. 113).

Eyni zamanda, şəhər logistikasını inkişaf etdirmək məqsədilə Parisdə şəhər konsolidasiya mərkəzləri (UCC) yaradılıb. Bu mərkəzlərin funksiyası müxtəlif şirkətlərdən yükləri mərkəzi bir yerdə toplamaq və sonradan onları daha kiçik, ekoloji cəhətdən dayanıqlı nəqliyyat vasitələri vasitəsilə şəhər daxilində paylamaqdır. Bu yanaşmanın yol tıxaclarını azaltdığı və logistika xərclərini optimallaşdırdığı nümayiş etdirilib. Bu istiqamətdə innovativ yanaşmalar Asiya ölkələrində də müşahidə olunur. Məsələn, Tokioda yüksək səviyyəli rəqəmsallaşdırma və avtomatlaşdırılmış logistika sistemlərinə əhəmiyyətli investisiyalar qoyulub. Süni intellekt və böyük verilənlər texnologiyalarından istifadə marşrutların optimallaşdırılmasına və çatdırılma müddətlərinin minimuma endirilməsinə kömək edir.

Aydındır ki, yaşıl nəqliyyat dayanıqlı şəhər logistikasının qurulmasında əsas vasitədir. Elektrikli avtomobillər, hibrid yük maşınları və alternativ yanacaqlardan istifadə edən nəqliyyat vasitələri karbon emissiyalarının azaldılmasında mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, şəhər ərazilərində elektrik skuterləri, velosipedlər və kiçik yük robotları da daxil olmaqla mikromobillik nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi də geniş yayılmaqdadır. Bu sahədə tətbiq oluna biləcək bir neçə digər əhəmiyyətli metodologiya mövcuddur, o cümlədən:

- Rəqəmsal logistika platformalarının yaradılması;
- Real vaxt məlumatlarının istifadəsi ilə nəqliyyatın idarə olunması;
- Şəhər planlaşdırılmasında logistika ehtiyaclarının nəzərə alınması;
- Dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi;
- Davamlı logistika üzrə normativ-hüquqi bazanın inkişaf etdirilməsi.

Azərbaycan kimi inkişaf etməkdə olan ölkələr kontekstində beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi və tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xüsusilə, Bakıda dayanıqlı logistika modellərinin tətbiqi yol hərəkəti tıxaclarının azaldılması, logistika xidmətlərinin optimallaşdırılması və ətraf mühit məsələlərinin həlli üçün vacibdir. Bu baxımdan, şəhər daxilində logistika mərkəzlərinin yaradılması, elektrikli nəqliyyat vasitələrinin təşviqi və rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi əhəmiyyətli nəticələr vermək potensialına malikdir.

Nəticə

Şəhər yerlərində insanların ehtiyaclarının effektiv şəkildə ödənilməsi, xoşbəxt bir icmanın qurulması, şəhər kimliyinin artırılması və icma hissəsinin gücləndirilməsi üçün yaxşı təşkil olunmuş şəhər logistika infrastrukturunun yaradılması çox vacibdir. Bu təşəbbüsün məqsədi müxtəlif nəqliyyat növlərinin inteqrasiyasını asanlaşdırmaq, bununla da marşrut səmərəliliyini optimallaşdırmaq, şəhər əməliyyat logistikasının fasiləsizliyini təmin etmək, yol hərəkəti tıxaclarının azaldılması və şəhər sakinlərinin gündəlik həyat keyfiyyətini artırmaqdır. Bu məqsədlərə çatmaq üçün şəhər logistika tətbiqlərinin vahid planlaşdırılması, koordinasiyası və davamlı monitorinqi zəruridir.

Tədqiqatda inkişaf etmiş şəhərlərin, o cümlədən Amsterdam, London, Paris və Tokyo nümunəsində tətbiq edilən innovativ logistika modelləri təhlil edilmişdir. Bu modellər arasında aşağı emissiyalı zonalar, urban konsolidasiya mərkəzləri, velosiped əsaslı çatdırılma sistemləri və rəqəmsal logistika platformaları xüsusi yer tutur. Eyni zamanda, elektrik və alternativ yanacaq ilə işləyən nəqliyyat vasitələrinin istifadəsi karbon emissiyalarının azaldılmasına töhfə verir.

Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, davamlı şəhər logistikasının uğurlu tətbiqi üçün inteqrasiya olunmuş planlaşdırma, müasir texnologiyaların tətbiqi və dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı əsas şərtlərdir. Bu təcrübələrin Bakı kimi sürətlə inkişaf edən şəhərlərdə tətbiqi nəqliyyat sisteminin optimallaşdırılması, ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılması və şəhər həyat keyfiyyətinin yüksəldilməsi baxımından geniş imkanlar yaradır. Davamlı şəhər logistikasının inkişafı şəhərlərin uzunmüddətli dayanıqlı inkişaf strategiyalarının ayrılmaz hissəsi kimi çıxış edir və bu sahədə beynəlxalq təcrübənin tətbiqi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Nəticə olaraq, bu gün qloballaşma ilə yaranan dağıdıcı rəqabət mühiti, ətraf mühitin mühafizəsi qanunları, müştəri tələbləri və gözləntiləri, müəssisələrin sosial məsuliyyət fəaliyyətləri və artan ətraf mühit məlumatlılığı səbəbindən logistika şirkətlərinin yaşıl logistika təcrübələrini nəzərdən keçirməsi, bunu logistika idarəetməsinin və təcrübələrinin hər mərhələsində müvafiq olaraq verəcəkləri strateji səviyyəli qərarlarla nümayiş etdirməsi və bizneslərində ətraf mühit məlumatlılığını getdikcə artırması qaçılmaz hala gəlmişdir. İstehsalda iştirak edən hökumətlər, müəssisələr, sektorlar, müəssisələr və logistika xidməti istehsal edən şirkətlər idarəetmə proseslərində ətraf mühitə həssas, lakin eyni dərəcədə dəyərli və faydalı təcrübələrə yönəlməlidirlər. Bundan əlavə, bu qurumlar bu mövzuda siyasət və strategiyalar hazırlamalı və həmişə inkişafa və dəyişikliklərə açıq olmalıdırlar.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Akben, İ., Bahçeci, A. P.,(2018) “Kentsel lojistik: Gaziantep örneği”, Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 5 (6): 211-229, (2018).
 2. Bedük, F. ve Aydın, M. E. (2012). “Yeşil Lojistik Uygulamaları”, Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10-12 Mayıs 2012, 42 – 48, Konya.
 3. Çağlar B.,(2023) “Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Uygulamalarının Değerlendirilmesi”, 1. Bursa UTL Sempozyumu, BTU UTL, Bursa-Türkiye, 334-341,
 4. Çağlayan O.,(2023) “Kentsel Lojistik Performans Faktörlerinin Değerlendirilmesi ve Geliştirilmesi”, 1. Bursa UTL Sempozyumu, BTU UTL Bursa-Türkiye, 15-19,
 5. Çamlıca, Z. ve Akar, G. S. (2014). “Lojistik Sektöründe Sürdürülebilirlik Uygulamaları”, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, 11 (5): 100 – 119.
 6. İman, İ.E.,(2019) “Kentsel lojistik ve lojistik köy performansları arasındaki ilişkinin araştırılması: Elâzığ ili örneği”, The International New Issues in Social Sciences, 7(2): 33-56.
-

7. İpekçi E., Tanyaş M.,(2021) “Kentsel Lojistiğinin Sınır İlçesi Açısından İncelenmesi: Hopa Örneği”, Uluslararası Stratejik Boyut Dergisi, 1 (2): 101-116.
8. Kılıç, D., Turğut, M.,(2019) “Kentsel Lojistik Açısından İstanbul Havalimanı ve Atatürk Havalimanı'nın Değerlendirilmesi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(2): 148-157.
9. Serkan Güvercin,(2018) Sürdürülebilir Kalkınma Önemi, Dünya Ve Türkçeye'dekü Uygulama Örnekleri Sosyal Bilimler Dergisi / The Journal Of Social Science, Yıl: 5, Sayı: 19, s. 465-481
10. Dossou, P. E., Vermersch, A.,(2021) “Development of a decision support tool for sustainable urban logistics optimization”, Procedia Computer Science, 184: 476- 483.
11. Duarte, G., Rolim, C., Baptista, P.,(2016) “How battery electric vehicles can contribute to sustainable urban logistics: A real-world application in Lisbon, Portugal”, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 15: 71-78.
12. Farchi, F., Touzi, B., Farchi, C., Mabrouki, C.,(2022) “Literature Review Around: Sustainable Urban Logistics”, In International Conference on Digital Technologies and Applications, Springer, Cham, 107-119.
13. Giret, A.,(2019) “Smart and sustainable urban logistic applications aided by intelligent techniques”, Service Oriented Computing and Applications, 13(3): 185-186.
14. Gonzalez-Feliu, J.,(2018) “Sustainable urban logistics: Planning and evaluation”, John Wiley&Sons,.
15. Macário, R., Castelo, S.,&Reis, V.,(2023) “Sustainable Urban Logistics: different scales different solutions”, Transportation Research Procedia, 72: 4247- 4254.
16. Morfoulaki, M., Kotoula, K., Stathacopoulos, A., Mikiki, F. and Aifadopoulou, G.,(2016) “Evaluation of specific policy measures to promote sustainable urban logistics in smallmedium sized cities: the case of Serres, Greece”, Transportation research procedia, 12: 667-678
17. Mori, K., Christodoulou, A.,(2012) “Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI)”, Environmental impact assessment review, 32(1): 94-106..
18. Pourmohammad-Zia, N., van Koningsveld, M.,(2024) “Sustainable urban logistics: A case study of waterway integration in Amsterdam”, Sustainable Cities and Society, 105, 105334.
19. Tepecik, A.,(2024) “Future Trends in Sustainable Urban Logistics, In Theories and Practices for Sustainable Urban Logistics”, IGI Global, 254-265.
20. Tian, Z., Zhong, R. Y., Vatankhah Barenji, A., Wang, Y. T., Li, Z., Rong, Y., (2021)“A blockchain-based evaluation approach for customer delivery satisfaction in sustainable urban logistics”, International Journal of Production Research, 59(7): 2229-2249.
21. Tseng, Y.Y., Yue, W. L., Taylor, M.A.,(2005) “The role of transportation in logistics chain”, Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5: 1657-1672.



Ələt Azad İqtisadi Zonasında Multimodal Daşımaların İnkişafı və Nəqliyyat İnfrastrukturunun Rolu

Rəşad Ağazadə¹, Tural Həmidov², İlqar Həsənov³, Araz Əliyev⁴, Elvin Hüseynov^{5*}

¹²³⁴⁵SABAH Qrupları, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

huseynovelvin2018@gmail.com

Xülasə

Məqalədə Ələt Azad İqtisadi Zonasının multimodal daşımaların inkişafında yeri və nəqliyyat infrastrukturunun bu prosesə təsiri araşdırılır. Ələt ərazisi Xəzər dənizi sahilində, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanına yaxın mövqedə yerləşdiyinə görə dəniz, dəmir yolu, avtomobil və gələcək hava yük daşımalarını bir sistem daxilində birləşdirmək imkanına malikdir. Bu üstünlük Azərbaycanın Şərq-Qərb və Şimal-Cənub istiqamətlərində tranzit rolunu gücləndirir, eyni zamanda qeyri-neft sektorunda istehsal, logistika və ixrac yönümlü xidmətlərin artmasına şərait yaradır. Tədqiqatda rəsmi sənədlər, beynəlxalq hesabatlar və açıq statistik məlumatlar əsasında analitik müqayisə aparılmış, Ələt Azad İqtisadi Zonasının logistika mərkəzi, liman, dəmir yolu və avtomobil bağlantıları ilə yaratdığı əlavə dəyər izah edilmişdir. Nəticə olaraq müəyyən olunur ki, Ələt Azad İqtisadi Zonasının yalnız azad zona kimi deyil, həm də regional təchizat zəncirinin koordinasiya nöqtəsi kimi qiymətləndirilməlidir. İnfrastrukturun tam işlək və rəqəmsal idarə olunan formada inkişafı daşınma vaxtını azaltmaq, tranzit yüklərin həcmi artırmaq və Azərbaycanın beynəlxalq logistika xəritəsində mövqeyini möhkəmləndirmək baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: Ələt Azad İqtisadi Zonası; Multimodal Daşımalar; Bakı Limanı; Nəqliyyat İnfrastrukturunu; Orta Dəhliz.

Giriş

Son illərdə beynəlxalq ticarətdə sürət, təhlükəsizlik və daşınma xərcinin optimallaşdırılması əsas rəqabət göstəricilərindən birinə çevrilmişdir. Yüklərin yalnız bir nəqliyyat növü ilə daşınması artıq iri təchizat zəncirləri üçün kifayət etmir. Dəniz, dəmir yolu, avtomobil və hava nəqliyyatının bir-birini tamamladığı multimodal model daha çevik həll kimi önə çıxır. Azərbaycanın coğrafi mövqeyi bu baxımdan xüsusi üstünlük yaradır. Ölkə Xəzər hövzəsində Şərq-Qərb və Şimal-Cənub marşrutlarının kəsişməsində yerləşir, bu da tranzit axınlarının idarə olunması üçün əlverişli baza formalaşdırır (Alat Free Economic Zone Authority, 2026).

Ələt Azad İqtisadi Zonası bu üstünlüyün iqtisadi layihəyə çevrilməsi baxımından mühüm nümunədir. Zona Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının yaxınlığında yerləşir və rəsmi məlumatlara görə beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin kəsişmə nöqtəsinə bağlıdır. Bu amil Ələtin yalnız istehsal və investisiya məkanı kimi deyil, həm də yük axınlarının toplanması, emalı, bölüşdürülməsi və yenidən ixracı üçün logistika platforması kimi inkişafına imkan verir (Alat Free Economic Zone Authority, 2025).

Mövzunun aktuallığı həm də onunla bağlıdır ki, qlobal təchizat zəncirlərin son illər alternativ marşrutlara maraq artmışdır. Orta Dəhliz üzrə hesabatlarda qeyd olunur ki, marşrutun səmərəliliyi təkcə fiziki infraqurtdan deyil, həm də sərhəd-keçid prosedurlarından, logistika xidmətlərinin keyfiyyətindən və müxtəlif nəqliyyat növləri arasında koordinasiyadan asılıdır (World Bank, 2023). Ələt AİZ bu problemlərin həllində vahid idarəetmə, bir pəncərə yanaşması və istehsal-logistika əlaqələrinin bir ərazidə cəmlənməsi ilə fərqlənə bilər.

Bu tədqiqatın məqsədi Ələt Azad İqtisadi Zonasında multimodal daşımaların inkişaf imkanlarını və nəqliyyat infrastrukturunun həmin inkişafda rolunu təhlil etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün üç əsas vəzifə müəyyən edilmişdir: birincisi, Ələt AİZ-in coğrafi və institusional üstünlüklərini izah etmək; ikincisi, liman, dəmir yolu, avtomobil və hava yük komponentlərinin multimodal modeldə yerini göstərmək; üçüncüsü, bu infrastrukturun Azərbaycan iqtisadiyyatı və tranzit potensialı üçün yarada biləcəyi praktik nəticələri qiymətləndirmək.

Məqalənin elmi yeniliyi Ələt AİZ-in ayrıca azad iqtisadi zona kimi deyil, multimodal logistika ekosistemi kimi araşdırılması ilə bağlıdır. İşdə infrastruktur elementləri sadəcə sadalanmır, onların bir-biri ilə əlaqəsi və yük axınlarının idarə edilməsində yaratdığı sinerji izah olunur. Məqalənin praktik əhəmiyyəti isə ondan ibarətdir ki, nəticələr nəqliyyat-logistika sahəsində planlaşdırma, investisiya qərarları və regional ticarət strategiyalarının hazırlanması üçün faydalı ola bilər.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat keyfiyyət əsaslı analitik yanaşma üzərində qurulmuşdur. Əsas material kimi Ələt Azad İqtisadi Zonasının rəsmi məlumatları, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı və tranzit-logistika üzrə dövlət resursları, Dünya Bankının Orta Dəhliz hesabatı və Azərbaycan 2030 inkişaf prioritetləri istifadə edilmişdir. Məqsəd konkret sahə üzrə mövcud vəziyyəti real mənbələrə əsaslanaraq izah etmək və infrastrukturun multimodal daşıma mexanizminə təsirini sistemləşdirməkdir.

Metodoloji baxımdan üç mərhələ tətbiq edilmişdir. Birinci mərhələdə Ələt AİZ-in nəqliyyat bağlantıları müəyyənləşdirilmişdir. İkinci mərhələdə həmin bağlantılar dəniz, dəmir yolu, avtomobil və hava yük daşımaları üzrə ayrıca qruplaşdırılmışdır. Üçüncü mərhələdə bu komponentlərin birgə işləməsi nəticəsində yarana biləcək logistika üstünlükləri qiymətləndirilmişdir. Qiymətləndirmə zamanı daşınma vaxtı, intermodal keçid imkanı, liman tutumu, logistika xidmətlərinin əlavə dəyəri və investisiya mühiti əsas göstəricilər kimi götürülmüşdür.

Multimodal səmərəliliyinin sadə qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı məntiqi ifadədən istifadə oluna bilər:

$$MSE = (T + K + R + X) / C \quad (1)$$

Burada MSE multimodal səmərəlilik göstəricisini, T daşınma vaxtının optimalaşdırılmasını, K koordinasiya səviyyəsini, R rəqəmsal idarəetmə imkanlarını, X əlavə dəyər yaradan logistika xidmətlərini, C isə ümumi əməliyyat xərclərini ifadə edir. Bu formul statistik model kimi deyil, məqalədə aparılan struktur təhlilin izahı üçün konseptual çərçivə kimi qəbul edilir.

Cədvəl 1. Ələt AİZ üzrə multimodal nəqliyyat komponentlərinin funksional rolu

Nəqliyyat komponenti	Əsas funksiyası	Ələt AİZ üçün rolu	Gözlənilən nəticə
Dəniz nəqliyyatı	Xəzər üzərindən yük qəbulu və göndərişi	Bakı Limanı ilə birbaşa yaxınlıq yaradır	Tranzit və konteyner axınlarının artması
Dəmir yolu	Uzun məsafəli yük daşımaları	Şərqi-Qərbi və Şimal-Cənub dəhlizlərinə çıxışı gücləndirir	Daha sabit və kütləvi yük hərəkəti
Avtomobil nəqliyyatı	Son mil və regional paylama	Liman, sənaye sahələri və daxili bazar arasında çeviklik yaradır	Daşınma müddətinin qısalması
Hava yük daşımaları	Sürətli və yüksək dəyərli yüklər	Planlaşdırılan yük aeroportu ilə inteqrasiya imkanı verir	Yüksək dəyərli logistika xidmətlərinin genişlənməsi

Mənbə: Müəllif tərəfindən AFEZ Authority, TRACECA və Azerbaijan Transit Portal məlumatları əsasında tərtib edilmişdir.

Cədvəl 2. Ələt AİZ-də multimodal yük axınının sadələşdirilmiş sxemi

Dəniz yükləri	→	Liman	→	Ələt AİZ logistika mərkəzi	→	Dəmir yolu / avtomobil / hava yük
----------------------	---	--------------	---	-----------------------------------	---	--

Mənbə: Müəllif tərəfindən AFEZ Authority və Airport.az məlumatları əsasında hazırlanmışdır.

Təhlil və müzakirə

Ələt AİZ-in multimodal daşımalarda əsas üstünlüyü onun məkan seçimi ilə bağlıdır. Zona Xəzər dənizi sahilində, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının yaxınlığında yerləşir. Bu mövqe yükün dənizdən limana, limandan dəmir yolu və avtomobil şəbəkəsinə, gələcəkdə isə hava yük infrastrukturuna keçirilməsini daha səmərəli edir. Əgər logistika mərkəzi nəqliyyat növləri arasında sadəcə fiziki keçid yaradırsa, azad iqtisadi zona bu keçidə istehsal, anbarlama, qablaşdırma, gömrük, sertifikatlaşdırma və yenidən ixrac kimi əlavə mərhələlər də əlavə edir. Nəticədə yük yalnız daşınır, həm də dəyər qazanır.

Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı Ələt modelinin əsas dayaqlarından biridir. TRACECA məlumatlarında limanın birinci mərhələ üzrə 15 milyon ton yük və 100 min TEU konteyner tutumuna malik olduğu, növbəti mərhələdə isə bu göstəricinin 25 milyon ton yükə qədər artırılmasının planlaşdırıldığı göstərilir (TRACECA, 2024). Bu rəqəmlər Ələt AİZ üçün mühüm bazadır. Çünki azad zonanın istehsal və logistika xidmətləri yalnız daxili bazara deyil, həm də Xəzər hövzəsi, Mərkəzi Asiya, Türkiyə və Avropa istiqamətlərinə çıxış əldə edir.

Dəmir yolu bağlantısı multimodal modeldə kütləvi və nisbətən ucuz daşıma üçün vacibdir. Ələt ərazisinin dəmir yolu və magistral avtomobil yolları ilə əlaqəsi yüklərin ölkə daxilində və beynəlxalq istiqamətlərdə hərəkətini asanlaşdırır. Rəsmi tranzit resurslarında Bakı Limanının dəniz, dəmir yolu və avtomobil daşımalarını birləşdirən əsas logistika qovşağı olduğu qeyd edilir (Azerbaijan Transit Portal, 2026). Bu, Ələt AİZ-də istehsal olunan və ya burada emal edilən məhsulların bazarlara çıxarılmasında çeviklik yaradır.

Avtomobil nəqliyyatı multimodal sistemin ən çevik hissəsidir. Dəmir yolu iri həcmli və uzaq məsafəli yüklər üçün daha səmərəli olsa da, son mərhələdə məhsulun anbardan müəssisəyə, limandan sənaye sahəsinə və ya daxili bazara çatdırılması üçün avtomobil daşımaları zəruri qalır. Ələt AİZ-in avtomobil yollarına çıxışı bu baxımdan praktik üstünlükdür. Burada əsas məsələ yolların olması ilə bitmir. Yük axınının sürətli idarə olunması, giriş-çıxış məntəqələrinin səmərəli işləməsi, rəqəmsal növbə və sənəd dövriyyəsi də infrastrukturun real səmərəsini müəyyən edir.

Hava yük daşımaları Ələt AİZ üçün gələcək inkişaf istiqamətlərindən biridir. AFEZ-in rəsmi logistika məlumatlarında yük aeroportu və Cargo Village layihələrinin yaradılması planlaşdırılır, yeni hava yük infrastrukturunun 2027-ci ilin birinci rübündən gec olmayaraq fəaliyyətə başlamasının gözləniləndiyi bildirilir (Alat Free Economic Zone Authority, 2026). Belə infrastruktur Ələt AİZ-i sadəcə regional tranzit məntəqəsi deyil, daha geniş dəyər zəncirinin aktiv iştirakçısına çevirə bilər.

Ələt AİZ-in inkişafında institusional mühit də fiziki infrastruktur qədər vacibdir. Azad iqtisadi zona investorlar üçün ayrıca hüquqi rejim, sadələşdirilmiş xidmətlər və bir pəncərə prinsipi təklif edir. Bu yanaşma logistika şirkətləri və istehsal müəssisələri üçün əməliyyat xərclərini azaltmağa kömək edə bilər. Investor üçün əsas sual təkcə torpaq sahəsinin və anbarın mövcudluğu deyil, həm də yükün sərhəddən keçməsi, sənədləşmə, vergi və gömrük proseslərinin nə qədər sadə olmasıdır. Ona görə də Ələt AİZ-in rəqabət üstünlüyü fiziki və institusional infrastrukturun birlikdə işləməsindən asılıdır.

Azərbaycan 2030 inkişaf prioritetlərində rəqabətli iqtisadiyyat, qeyri-neft sektorunun genişlənməsi və regional bağlantıların gücləndirilməsi kimi istiqamətlər ön plana çıxarılır (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2021). Ələt AİZ bu prioritetlərlə uyğun gələn layihədir.

Çünki burada məqsəd yalnız tranzit haqqı qazanmaq deyil. Daha vacib olan yüklərin emalı, qablaşdırılması, saxlanması, yüngül istehsal mərhələlərindən keçirilməsi və daha sonra ixrac olunmasıdır. Bu model qeyri-neft iqtisadiyyatı üçün daha dayanıqlı gəlir mənbələri yarada bilər.

Bununla yanaşı, Ələt AİZ-in potensialının tam açılması üçün bəzi məsələlər xüsusi diqqət tələb edir. Birincisi, nəqliyyat növləri arasında keçid vaxtı minimuma endirilməlidir. İkincisi, liman, dəmir yolu, avtomobil və hava yük infrastrukturunu vahid rəqəmsal platformada əlaqələndirilməlidir. Üçüncüsü, sərhad və gömrük prosedurları tranzit yük üçün əvvəlcədən məlumat mübadiləsinə əsaslanmalıdır. Dördüncüsü, logistika xidmətləri yalnız daşımadan ibarət qalmamalı, əlavə dəyər yaradan xidmətlərə çevrilməlidir. Dünya Bankının Orta Dəhliz üzrə hesabatında da infraquruluşla yanaşı, əməliyyat və koordinasiya problemlərinin həllinin vacibliyi vurğulanır (World Bank, 2023).

Ələt AİZ-in regional rəqabətdə mövqeyi Orta Dəhlizin ümumi inkişafından da asılıdır. Marşrutun Qazaxıstan, Azərbaycan və Gürcüstan üzərindən keçən hissəsi müxtəlif nəqliyyat növlərinin ardıcıl istifadəsini tələb edir. Bu isə hər ölkədə liman, dəmir yolu, gömrük və logistika xidmətlərinin bir-biri ilə uyğun işləməsini zəruri edir. Azərbaycan bu zəncirdə Xəzər keçidi və Qafqaz bağlantısı arasında əsas körpü rolunu oynayır. Ələt AİZ həmin körpünün iqtisadi məzmununu gücləndirən platforma kimi çıxış edir.

Praktiki baxımdan Ələt AİZ-də multimodal daşımanın inkişafı üç əsas nəticə verə bilər. Birinci nəticə tranzit yüklərin ölkə ərazisində daha uzun müddət qalması və əlavə xidmətlərdən istifadə etməsidir. İkinci nəticə istehsal və logistika müəssisələri üçün yeni iş yerlərinin yaranmasıdır. Üçüncü nəticə Azərbaycanın regionda təkəç keçid ölkəsi deyil, xidmət və istehsal mərkəzi kimi tanınmasıdır. Bu baxımdan nəqliyyat infraquruluşu sadəcə yol, liman və terminal anlayışı ilə məhdudlaşmır. O, iqtisadi diversifikasiya üçün əsas dayaqlardan birinə çevrilir.

İnfraquruluşun inkişaf istiqamətləri

Ələt AİZ-də multimodal daşımanın inkişafı üçün əsas istiqamətlərdən birini rəqəmsal logistika idarəetməsinin genişləndirilməsidir. Müasir logistika artıq yalnız fiziki terminal və anbarlardan ibarət deyil. Yükün harada olduğu, hansı nəqliyyat növünə nə zaman keçiriləcəyi, sənədlərin hansı mərhələdə təsdiqləndiyi və sərhad-keçid prosedurunun nə qədər vaxt aparacağı real vaxt rejimində izlənməlidir. Əgər bu məlumatlar liman, dəmir yolu operatoru, avtomobil daşıyıcısı, azad zona idarəçiliyi və gömrük qurumları arasında inteqrasiya olunmuş şəkildə paylaşılırsa, yük sahibinin qeyri-müəyyənliyi azalır. Bu isə Ələt AİZ-in beynəlxalq logistika şirkətləri üçün daha etibarlı platformaya çevrilməsinə kömək edir.

İkinci istiqamət əlavə dəyər yaradan logistika xidmətlərinin artırılmasıdır. Bir çox ölkələrdə azad iqtisadi zonaların uğuru yalnız vergi güzəştləri ilə izah olunmur. Əsas üstünlük yüklərin həmin ərazidə emal olunması, etiketlənməsi, qablaşdırılması, keyfiyyət yoxlamasından keçirilməsi və son bazara uyğun hazırlanması ilə bağlıdır. Ələt AİZ də bu yanaşmanı gücləndirə bilər. Məsələn, Mərkəzi Asiyadan gələn xammal və yarımfabrikatlar burada yüngül istehsal və qablaşdırma mərhələsindən keçərək Türkiyə, Avropa və Yaxın Şərqi bazarlarına daha yüksək dəyərlə göndərilə bilər. Bu halda tranzit ölkə modeli tədricən istehsal-logistika modeli ilə əvəz olunur.

Üçüncü istiqamət nəqliyyat növləri arasında fiziki keçidlərin sürətləndirilməsidir. Multimodal sistemdə ən çox vaxt itirilən məqam yükün bir nəqliyyat növündən digərinə keçirilməsi zamanı yaranır. Limandan dəmir yolu terminalına, dəmir yolundan avtomobil paylama mərkəzinə və ya anbara keçid mərhələləri düzgün planlaşdırılmadıqda bütün marşrutun üstünlüyü zəifləyir. Buna görə Ələt AİZ-də terminal planlaşdırılması, konteyner sahələrinin yerləşməsi, yükləmə-boşaltma texnikası, anbarların limana və dəmir yolu xəttinə yaxınlığı xüsusi əhəmiyyət daşıyır. İnfraquruluşun hər bir hissəsi ayrıca deyil, ümumi yük axını məntiqi ilə qurulmalıdır.

Dördüncü istiqamət kadr hazırlığı və logistika bacarıqlarının inkişafıdır. İnfraquruluş nə qədər müasir olsa da, onu idarə edən mütəxəssislərin bilik və bacarığı yetərli deyilsə, sistem tam səmərə vermir. Ələt AİZ-də gömrük prosedurları, beynəlxalq daşıma sənədləri, multimodal

müqavilələr, rəqəmsal izləmə sistemləri və anbar idarəetməsi üzrə ixtisaslaşmış kadrların hazırlanması vacibdir. Bu sahədə universitetlər, peşə təhsili müəssisələri və logistika şirkətləri arasında əməkdaşlıq genişləndirilə bilər. Belə yanaşma zonanın uzunmüddətli inkişafına insan kapitalı baxımından dəstək verir.

Beşinci istiqamət dayanıqlı və ekoloji logistika yanaşmasının tətbiqidir. Dünyada iri şirkətlər artıq yalnız daşınma qiymətinə deyil, həm də karbon izi, enerji səmərəliliyi və yaşıl təchizat zənciri meyarlarına diqqət yetirirlər. Ələt AİZ-in gələcək inkişafında dəmir yolu daşımalarının payının artırılması, enerji səmərəli anbarlardan istifadə, rəqəmsal sənəd dövriyyəsi və ekoloji standartlara uyğun terminal idarəçiliyi xüsusi üstünlük yarada bilər. Bu, həm beynəlxalq investorların tələblərinə uyğunlaşmaq, həm də Azərbaycanın dayanıqlı inkişaf məqsədlərinə töhfə vermək baxımından əhəmiyyətlidir.

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, Ələt Azad İqtisadi Zonası multimodal daşımaların inkişafı üçün Azərbaycanın ən strateji məkanlarından biridir. Zonanı fərqləndirən əsas cəhət onun Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, dəmir yolu və avtomobil magistralları ilə yaxın əlaqədə yerləşməsidir. Gələcək hava yük infrastrukturunu da bu sistemə qoşulduqda Ələt dəniz, quru və hava daşımalarının inteqrasiya olunduğu daha güclü logistika platformasına çevrilə bilər.

Nəticələrə görə, Ələt AİZ-in rolu yalnız tranzit axınlarını qəbul etməkdən ibarət deyil. Burada yüklərin saxlanması, çeşidlənməsi, qablaşdırılması, emalı və yenidən ixracı üçün imkanlar yarandıqda ölkə daha çox əlavə dəyər əldə edir. Bu isə qeyri-neft sektorunun genişlənməsi və Azərbaycan 2030 prioritetlərinin icrası baxımından əhəmiyyətlidir.

Məqalənin əsas qənaəti ondan ibarətdir ki, multimodal daşımaların uğuru fiziki infrastrukturun mövcudluğu ilə yanaşı, onun idarəetmə keyfiyyətindən də asılıdır. Liman, dəmir yolu, avtomobil və hava yük sistemləri vahid rəqəmsal platforma üzərindən əlaqələndirilərsə, Ələt AİZ regional logistika bazarında daha rəqəbətli mövqə qazana bilər. Buna görə gələcək mərhələdə rəqəmsallaşma, sərəhəd-keçid proseslərinin sürətləndirilməsi və əlavə dəyər yaradan logistika xidmətlərinin genişləndirilməsi əsas inkişaf istiqamətləri kimi götürülməlidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Alat Free Economic Zone Authority. (2025). AFEZ brochure 2025. https://api.afez.az/uploads/content_attachment/1733210342/AFEZ_Brochure-2025.pdf
2. Alat Free Economic Zone Authority. (2026). Infrastructure. <https://afez.az/why-afez/infrastructure>
3. Alat Free Economic Zone Authority. (2026). Transportation and logistics. <https://afez.az/property-solutions/logistic-center>
4. Azerbaijan Transit Portal. (2026). Logistics centers / transportation systems. <https://transit.gov.az/en/transportation-systems/logistics-centers>
5. Azerbaijan Transit Portal. (2026). Alat Free Trade Zone / transportation systems. <https://transit.gov.az/en/transportation-systems/alat-free-trade-zone>
6. Azərbaycan Respublikası Prezidenti. (2021). Azerbaijan 2030: National Priorities for Socio-Economic Development. <https://president.az/en/articles/view/50474>
7. International Association of Ports and Harbors. (2026). Baku International Sea Trade Port. <https://www.iaphworldports.org/memberports/baku-international-sea-trade-port/>
8. TRACECA. (2024). Baku International Sea Trade Port. <https://traceca.ge/en/route/ports/bakuinternationalseatradeport>
9. World Bank. (2023). Middle Trade and Transport Corridor: Policies and investments to triple freight volumes and halve travel time by 2030. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/4d781a1f-ace4-420d-9192-964bbc98b0d1>
10. İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi. (2023). The Middle Corridor. <https://ereforms.gov.az/files/publications/pdf/az/574167689b6d2d8cef19c8db75c62545.pdf>



Sıx Məskunlaşmış Şəhər Ərazilərində Tıxac və Onun Aradan Qaldırılması Yolları

Xanım Babayeva

SABAH Qrupları, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan.

xanimbabayevaa95@gmail.com

Xülasə

Son illərdə şəhər nəqliyyatının təklifi ilə tələbi arasındakı ziddiyyətlər getdikcə daha da ciddiləşir və bu da sakinlərin müntəzəm səyahətinə böyük təsir göstərərək ətraf mühitin çirklənməsini daha da pisləşdirib. İndiyə qədər şəhər nəqliyyatının tıxacları şəhərlərin sosial inkişafına və iqtisadi inkişafına mənfi təsir göstərən əsas amilə çevrilib. Bu çalışmamda daha çox tıxac və onun aradan qaldırılması yollarına toxunulubdur. Trafik tıxaclarının şəhər üçün ciddi təhlükə yaratmağa davam etməsi və məhsuldarlığa, ətraf mühitə və həyat keyfiyyətinə mane olması bu çalışmanı ön plana çıxartmışdı. Tıxaclara səbəb olan mövcud problemlərə urbanizasiya, zəif infrastruktur planı və zəif ictimai nəqliyyat sistemləri daxildir. Yaxın keçmişdə bir sıra tövsiyələr və müdaxilələr edilmişdir ki, həll yolları əsasən texnologiyaya əsaslanan innovasiyaların tətbiqinə əsaslanır. Şəhər planlaşdırılmasında qarışıq funksiyalı zonaların yaradılması, yəni yaşayış, iş və xidmət sahələrinin daha balanslı yerləşdirilməsi də gündəlik nəqliyyat axını azalda bilər. Eyni zamanda, velosiped yollarının genişləndirilməsi və piyada infrastrukturunun yaxşılaşdırılması alternativ hərəkət üsullarını təşviq edir. Sonda nəticə olaraq, yol tıxaclarının aradan qaldırılması kompleks yanaşma tələb edir və həm texnoloji, həm də sosial-iqtisadi tədbirlərin birlikdə həyata keçirilməsi ilə mümkün ola bilər.

Açar sözlər: Tıxac, Nəqliyyat, Urbanizasiya, Şəhər Ərazisi

Giriş

Dünyanın əksər hissəsində, inkişaf etmiş və ya inkişaf etməmiş ölkələrdə, tıxac artmaqdadır və hər şey onun daha da pisləşəcəyini göstərir ki, bu da şəhər həyatının keyfiyyətinə şübhəsiz bir təhlükə yaradır. Onun əsas ifadəsi, fasiləsiz trafik axını ilə müqayisədə trafik sürətinin tədricən azalmasıdır və nəticədə səyahət müddətinin, yanacaq sərfiyyatının, digər istismar xərclərinin və ətraf mühitin çirklənməsinin artmasıdır. Tıxac əsasən son onilliklərdə Latın Amerikasında mülkiyyəti kütləvi şəkildə yayılan avtomobillərin intensiv istifadəsi ilə əlaqədardır. Şəxsi avtomobillər şəxsi hərəkətiliyi asanlaşdırmaq baxımından üstünlüklərə malikdir və təhlükəsizlik hissi və hətta yüksək status hissi verir, xüsusən də inkişaf etməkdə olan ölkələrdə.

Hamımız bilir ki, avtomobillərin ixtirası insanların həyatını böyük dərəcədə dəyişdirib və bu da bizə rahatlıq və zövq verir. Lakin getdikcə daha çox insan avtomobillərdən geniş istifadə etdiyindən, yol hərəkəti tıxacları yaranıb ki, bu da şəhər modernləşməsi zamanı aradan qaldırılması çətin olan bir maneədir. Bu günlərdə getdikcə daha çox şəhər avtomobil cəmiyyəti mərhələsinə qədəm qoyur, bir çox böyük və orta ölçülü şəhərlər yol hərəkəti tıxacları dövrü ilə üzleşir. Əslində, yol hərəkəti tıxacları hökumətlər və funksional departamentlər üçün aktual mövzu və çətinliyə çevrilib. Bu fonda yol hərəkəti tıxaclarını öyrənmək və yol hərəkəti tıxacları ilə bağlı problemləri həll etmək üçün müvafiq tədbirlər görmək vacibdir və təcildir. Yol hərəkəti tıxaclarını azaltmaq və insanların həyatını yaxşılaşdırmaq üçün müxtəlif ölkələrdə və

bölgələrdə yol hərəkəti tıxaclarını həll etmək üçün bəzi tədbirlər görülmüş və bu tədbirlər müəyyən nailiyyətlər əldə edib. Lakin hələ uzun bir yol qət edilməlidir.

Nəqliyyat vasitələrinin sürətli böyüməsi yol infrastrukturuna və yol hərəkətinin idarə olunmasına böyük təzyiqli göstərmişdir. Bu cür təzyiqli aradan qaldırmaq üçün bir çox şəhər yeni tikilmiş viyadüklər və metroların uzadılması kimi yol infrastrukturunun təkmilləşdirilməsinə külli miqdarda vəsait yatırır. Lakin şəhərlərin çox çalışdığı şey avtomobil ehtiyatlarının artım tempinə uyğunlaşa bilmir.

Tıxacın zərərli təsirlərindən birbaşa hərəkət etməyə çalışan nəqliyyat vasitələri əziyyət çəkir. Lakin bunlardan yalnız sürücülər deyil, həm də ictimai nəqliyyat istifadəçiləri - ümumiyyətlə aşağı gəlirli insanlar - əziyyət çəkirlər. Onlar nəinki bir yerdən digərinə daha uzun səyahət edir, həm də tıxac səbəbindən daha yüksək gediş haqqı ödəməli olurlar. Bütün şəhər sakinləri də mənfi təsirlərə məruz qalırlar, məsələn, hava və səs-küy çirklənməsinin artması və şəhərlərinin sağlamlığına və dayanıqlığına mənfi uzunmüddətli təsir kimi amillər həyat keyfiyyətlərinin pisləşməsi baxımından, bütün bunlar tıxacın nəzarətdə saxlanılmasını vacib edir.

Trafik tıxac anlayışı

Tıxac, nəqliyyat sisteminin müəyyən bir hissəsində və müəyyən bir nöqtədə nəqliyyata tələbat təklifi üstələdikdə yaranır. Belə hallarda, digər nəqliyyat vasitələrinin hərəkətiliyi pozulur.

Tıxac, xüsusən də bu resursların qiymət mexanizmlərinə tabe olmadığı hallarda, məhdud nəqliyyat resurslarından istifadənin qaçılmaz nəticəsi kimi qəbul edilə bilər. Son onilliklərdə şəhər ərazilərində yol şəbəkələrinin genişlənməsi müşahidə olunur və bu yolların əksəriyyətinə pulsuz giriş mümkündür. İnfrastruktur yüksək sürət və yüksək tutum əldə etmək məqsədi ilə hazırlanmışdır; lakin şəhər dövriyyəsinin artım tempi tez-tez gözləntiləri aşırırdı. Bir neçə onillik əvvəl kifayət qədər olması üçün nəzərdə tutulmuş yol infrastrukturalarının gözləniləndən daha tez tutumdan tükəndiyi aşkar edilmişdir (Downs 2012, s.403). Bu sektora investisiyalar şəhər və regional ərazilərə əlçatanlığı artırmaq məqsədi ilə müxtəlif hökumət səviyyələrindən qaynaqlanırdı. Yüksək səviyyədə nəqliyyat təchizatı təmin etməklə yol nəqliyyatının genişləndirilməsi üçün güclü stimullar mövcud idi. Bu, zərərli tıxac dövrünə səbəb oldu ki, bu da öz növbəsində əlavə yol tutumunun qurulmasını və avtomobil asılılığının artmasına səbəb olur. Şəhər tıxacları əsasən eyni infraqururdan istifadə edən iki dövriyyə sahəsi ilə əlaqədardır:

Sərnişinlər. Dünyanın bir çox bölgəsində gəlirlərdə əhəmiyyətli dərəcədə artım müşahidə olunub və hər ev təsərrüfatına bir və ya daha çox avtomobilin sahibliyi geniş yayılıb. Avtomobilə çıxış mənsə, təyinat yeri və səyahət müddətinin seçilməsi baxımından daha çox rahatlığa kömək edir. Avtomobil əksər səyahətlər, o cümlədən iş saatları üçün üstünlük verilən nəqliyyat vasitəsidir. Avtomobillə əlaqəli tıxacların üstünlük təşkil etməsi nəqliyyat vasitələrindən istifadədə (iş saatları ərzində) vaxt üstünlükləri və dayanacaq üçün əhəmiyyətli yer tələbləri ilə əlaqədardır. Təxminən 95%-də nəqliyyat vasitəsinin işləməyəcəyi təxmin edilir və hər yeni avtomobilin təbii tələb olunan sahənin artmasına səbəb olur (Toole 2009).

Yük daşımaları. Bir sıra sənaye sahələri nəqliyyat tələblərini yük daşımalarına keçirib və bununla da yol infraqururdan istifadəni artırıb. Şəhərlərin istehlak və ya digər yerlərə transfer üçün yük axınları üçün əsas təyinat yerlərini təmsil etdiyini nəzərə alsaq, şəhər tıxaclarının artmasında yük daşımalarının rolu əhəmiyyətlidir. "Son mil" problemi xüsusilə şəhər ərazilərində yük paylanması üçün geniş yayılıb. Tıxacın çatdırılma tezliyinin azalması ilə əlaqəli olduğu və bu da öz növbəsində oxşar xidmət səviyyəsini qorumaq üçün tutumun artırılmasını zəruri etdiyi barədə ümumi bir fikir var. Elektron ticarətin meydana gəlməsi ilə evə çatdırılmaların çoxalması, xüsusilə sıxlıqlı ərazilərdə tıxacın artmasına səbəb olub ki, bu da qismən dayanacaqların tezliyinin artması ilə əlaqədardır.

Buna baxmayaraq, şəhər yerlərində tıxac əsasən gediş-gəliş qaydaları və daha az dərəcədə yük maşınlarının hərəkəti ilə əlaqədardır. Orta hesabla, infraqurur təminatı nəqliyyat

vasitələrinin sayının artmasının yaratdığı tələbləri ödəyə bilməmişdir ki, bu da ümumi nəqliyyat vasitəsi-kilometrlərinin artması ilə daha da ağırlaşmışdır. İnfrastrukturun təkmilləşdirilməsi və tikintisi kontekstində tutumun azalması (məsələn, azaldılmış zolaqlar, bağlı hissələr) tıxaclara səbəb ola bilər. Tutum həddinə çatdıqda və ya aşdıqda əhəmiyyətli səyahət gecikmələrinin baş verdiyi məlum bir faktdır. Bu, demək olar ki, bütün metropoliten ərazilərində yaygın bir haldır. London kimi böyük metropoliten ərazilərdə yol hərəkətinin sürəti bir əsr əvvəl müşahidə edilənə nisbətən xeyli azalmışdır. Nəticə etibarilə, marjinal gecikmələr artır və əhali sıxlığının səviyyəsi artdıqca sürücülük sürəti problemlili olur (Toole 2009). Təxminən 1 milyon əhali həddinə çatdıqdan sonra şəhərlər davamlı tıxac problemləri ilə qarşılaşırlar. Lakin bu müşahidə şəhər mühiti, modal üstünlüklər (ictimai nəqliyyatın payı) və mövcud şəhər nəqliyyat infrastrukturalarının keyfiyyəti ilə əlaqəli çoxsaylı amillər kontekstində nəzərdən keçirilməlidir.

Şəhər tıxacının azaldılması istiqamətləri

Tıxacın azaldılması ilə bağlı ilkin fərziyyə müəyyən səyahətlərin zəruriliyi ilə bağlıdır və bu qərar sonda fərdi istifadəçi tərəfindən müəyyən edilir. Nəticə etibarilə, tələb nəzarətindən kənarında, tıxacın azaldılması uyğunlaşdırılmalı olan hərəkətilik səviyyəsi ilə bağlıdır. Müəyyən bölgələrdə avtomobil adekvat nəqliyyat infrastrukturalarının mövcud olduğu yeganə vasitədir (Hu Guangliang 2014, s. 76). Bu, ictimai nəqliyyat, piyada və mikromobillik daxil olmaqla alternativ nəqliyyat növləri üçün tutumun azaldığını göstərir. Aşağı sıxlıqlı ərazilərdə ictimai infraqururura qoyulan investisiyaların iqtisadi gəliri əhəmiyyətsiz hesab olunur. Torpaq istifadəsinin və tıxac səviyyələrinin parçalanması ilə əlaqəli uzadılmış gediş-gəliş vaxtları fenomeni əlavə araşdırma tələb edən əsas tendensiyadır (Mustafa 2019, s. 104). Yüksək səviyyədə avtomobil sahibliyi və aşağı səviyyədə avtomobil doluluğu olan aşağı sıxlıqlı ərazilərə xidmət edən əsas magistral yollarda nəqliyyatın konvergeniyası baş verir. Tıxac dövrlərində enerji xərcləri artır ki, bu da öz növbəsində əlavə vaxt tələb olunmasına və gediş-gəliş üçün daha böyük məsafələrin qət edilməsinə səbəb olur. Şəxsi nəqliyyat vasitələrindən yüksək asılılığın olduğu şəhər yerlərində müəyyən tədbirlərin müəyyən dərəcədə tıxacın azaldılmasında potensial olaraq təsirli olduğu müəyyən edilmişdir (Zhu Mingkun 2015, s. 66).

Pandusların ölçülməsi. Tıxac yaşayan magistral yola girişin tənzimlənməsini asanlaşdıran bir sistemin tətbiqi, avtomobillərin ixtiyari qruplarda deyil, ardıcıl olaraq girişinə icazə verməklə əldə edilə bilər. Nəticədə, pandusdan birləşmənin optimallaşdırılması yolu ilə magistral yol hərəkəti axınlarının pozulması azalır.

Trafik siqnallarının sinxronizasiyası. Yol siqnallarının nəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin zaman və məkan dinamikasına uyğunlaşdırılması. Bu yanaşmanın effektivliyi siqnalları saatlıq olaraq tənzimləmək və bununla da dövriyyə modellərindəki dalğalanmalara uyğunlaşdırmaq qabiliyyətindən asılıdır. Yüklə maşınları svetoforları gecikmiş siqnallardan keçirmək qabiliyyətinə malikdir və bununla da sarı işıqda əyləc edən avtomobillə qəfil toqquşma nəticəsində qəza riskini azaldır. Nəticə etibarilə, yüklə maşınlarının qırmızı işıqda ilk nəqliyyat vasitəsi olma ehtimalı daha azdır və bununla da yüklə maşınlarının sürətlənməsi daha aşağı olduğundan tutumu artırır (Khan 2001, 83).

İnsidentlərin idarə olunması. Qəza və ya mexaniki nasazlıqlara məruz qalan nəqliyyat vasitələrinin mümkün qədər tez yoldan çıxarılması vacibdir. Qəzaların bütün tıxac hallarının 20-30%-ni təşkil etdiyini nəzərə alsaq, bu strategiya xüsusilə vacibdir.

Nəqliyyat vasitələrinin məhdudiyətləri: Bu, giriş və mülkiyyət məsələləri ilə bağlı baş verə bilər. Nəqliyyat vasitələrinin şəhərin müəyyən hissələrinə, məsələn, mərkəzi biznes rayonuna girişinin məhdudlaşdırılması daimi olaraq və ya müəyyən vaxtlarda tətbiq oluna bilər. Bu, istifadəçiləri bu təyinat yerlərinə çatmaq üçün alternativ nəqliyyat vasitələrini seçməyə sövq etmişdir. Sinqapur da daxil olmaqla bir neçə şəhər və ölkədə verilə bilən nömrə nişanlarının sayını müəyyən edən və ya yüksək lisenziyalaşdırma haqları tətbiq edən qaydalar mövcuddur. Nəqliyyat vasitəsi almaq üçün əvvəlcə hərərac yolu ilə lisenziya almaq lazımdır. Lakin bu cür strategiyalar bazarın fundamental prinsipləri ilə uyğun gəlmir (Metz, 2018, s.495).

Ortaq nəqliyyat vasitələrindən istifadə. Məsələ ikiqatdır. İlkin fayda, oxşar mənsəyə, təyinat yerinə və gediş-gəliş müddətinə malik şəxslərə (çox vaxt həmkarlara) nəqliyyat təmin etməkdir. Buna görə də, iki və ya daha çox nəqliyyat vasitəsinin səyahətini vahid bir səyahətə birləşdirmək mümkündür, bu təcrübəyə danışıq dilində "avtomobil birliyi" deyilir. İkinci seçim, hərəkətilik tələb olunduqda məhdud müddətə icarəyə götürülə və ya ortaqlar istifadə edilə bilən nəqliyyat vasitələrinin (əsasən avtomobillər, lakin velosipedlər və skuterlər də daxil olmaqla) bir hissəsini əhatə edir. Təchizat və tələbi effektiv şəkildə uyğunlaşdırmaq üçün informasiya texnologiyaları ilə effektiv dəstək təmin etməklə adekvat tədbirlərin görülməsi vacibdir.

Yüksək tutumlu nəqliyyat vasitələri zolaqları. Yüksək tutumlu nəqliyyat vasitələri (YTN) zolaqları, xüsusilə pik saatlarda daha az tıxac yaşayan zolaqlara eksklüziv giriş imkanı vermək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Tıxacın qiymətləndirilməsi. Nəqliyyat sisteminin müəyyən seqmentlərinə və ya bölgələrinə, əsasən yol haqqı şəklində ödənişlər tətbiq etmək məqsədi ilə müxtəlif tədbirlər həyata keçirilir. Bundan əlavə, qeyd etmək lazımdır ki, tıxac səviyyəsini əks etdirmək üçün ödənişlər gün ərzində dəyişə bilər. Bu, sürücüləri alternativ vaxt dövrlərini və ya nəqliyyat növlərini nəzərdən keçirməyə təşviq edir. Yol haqqı ödəməyə hazır olan nəqliyyat vasitələrinə giriş imkanı verilməklə zolaqlara məhdudiyətlər tətbiq oluna bilər (Lindsay, 2001).

Dayanacaq yerlərinin idarə olunması. Dayanacaq yerlərinin və ya pulsuz dayanacaq yerlərinin ləğvi effektiv bir vasitə ola bilər, çünki bunun kruizləri azaltdığı və ödəniş etmək istəyənlərin müəyyən bir əraziyə (məsələn, qısa bir alış-veriş dayanacağı üçün) daxil olmasına imkan verdiyi nümayiş etdirilib. Dayanacaq yerlərinin qıt aktivlər kimi qəbul edilməsi vacibdir və nəticədə ödəməyə hazırlığı əks etdirən qiymət strukturu tətbiq edilməlidir. Bundan əlavə, planlaşdırma qaydaları obyektin növünə və torpaq istifadəsinin sıxlığına əsaslanaraq minimum dayanacaq yeri tələblərini tətbiq etməklə dolayı yolla dayanacaq yerlərini subsidiyalaşdırır.

İctimai nəqliyyat. Sürücülüyə alternativlərin təmin edilməsi, xüsusən də şəhərin mövcud infrastrukturuna (məsələn, metro, yüngül dəmir yolu, təyin olunmuş zolaqlarda işləyən avtobuslar) inteqrasiya edildikdə, səmərəliliyin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb ola bilər. Belə inteqrasiya bu strategiyanın effektiv şəkildə həyata keçirilməsi üçün çox vacibdir. Sərnişinlər üçün endirimli aylıq biletlər kimi maliyyə təşviqləri təklif oluna bilər. Bununla belə, ictimai nəqliyyat sistemləri müxtəlif çətinliklərlə üzləşir, bu barədə şəhər nəqliyyatı ilə bağlı problemlərə dair sonrakı bölmədə müzakirə olunacaq (De Palma, s.1378).

"Mikromobillik" termini motorlu olmayan nəqliyyatı ifadə etmək üçün istifadə olunur. Şəhər səyahətlərinin əksəriyyətinin məhdud müddətə malik olduğunu nəzərə alsaq, motorlu olmayan nəqliyyat növləri, xüsusən də piyada, velosiped və elektrikli velosipedlər, şəhər hərəkətiliyinin artırılmasında mühüm rol oynayır ki, bu da tez-tez mikromobillik adlandırılan anlayışdır. Piyada yolları kimi adekvat infrastrukturun təmin edilməsinə çox vaxt aşağı prioritet verilir, çünki motorlu olmayan nəqliyyat şəhər ərazilərində əhəmiyyətli roluna baxmayaraq, tez-tez köhnəlmiş hesab olunur.

Bütün bu tədbirlər tıxac problemini yalnız qismən həll edir, yəni problemi aradan qaldırır, lakin həll etmir. Əsasən, tıxac iqtisadi uğurun əlaməti olaraq qalır, lakin artan mobillik tələbləri ilə kəskin təklif məhdudiyətlərini uzlaşdırma bilməməkdir.

Nəticə

Müasir dövr sürətlənmiş sosial transformasiya və sosial təbəqələşmənin genişlənməsi ilə xarakterizə olunur ki, bu da şəhər nəqliyyat mühitinin gündəlik olaraq pisləşməsi ilə xarakterizə olunan sosial problemə səbəb olur. Bu məsələni həll etmək üçün bütün ictimaiyyətin birgə səyləri tələb olunur. Uğurun açarının geniş şəkildə qəbul edilmiş və tanınmış bir dəyərin yaradılması olduğu nəzəriyyəsi irəli sürülür ki, bu da yalnız yolların genişləndirilməsi və texnika islahatı ilə məhdudlaşmamalıdır. Hər halda, həyat tərzində dəyişiklik, yəni istehlak və tullantıların azaldılması zərurətini təşviq etmək məqsədilə geniş ictimaiyyət arasında yol hərəkəti tıxacları, ətraf mühitin çirklənməsi və ekoloji ziyan məsələləri ilə bağlı məlumatlılığı artırmaq vacibdir. Nəticə etibarilə, avtomobil istehlakında irrasional dəyər anlayışı nəzərə

alınmaya bilər. Qeyd etmək vacibdir ki, yeni dəyər ümumi şəkildə deyil, spesifik şəkildə ortaya çıxacaq. Başqa sözlə, yeni dəyər müəyyən edildikdən sonra real vəziyyətlər və yeni reallıqlar, eləcə də yeni bir dünya ortaya çıxacaq.

Yol hərəkəti problemləri üçün ən mümkün və gəlirli həll alternativinin seçilməsi bir çox meyarları əhatə edir və həll investisiyalarının müqayisəsi prosesinin hərtərəfli qiymətləndirilməsini tələb edir. Bu qiymətləndirmə zamanı həllin tətbiq olunduğu ərazinin faktiki ehtiyacları, proqnozlaşdırılan trafik həcmələri, tikinti xərcləri və investisiya prioritetləri nəzərə alınmalı və zəruri hallarda qısa-orta-uzunmüddətli həll alternativləri müqayisə edilməlidir. Bu yanaşma ən uyğun investisiyanın düzgün vaxtda başlanmasını təmin etmək və bölgədəki problemlərin həllinə töhfə vermək üçün vacibdir. Buna görə də, ənənəvi və yüksək xərcli həllər əvəzinə, xərc və büdcə prioritetləri nəzərə alınmaqla alternativlər yaradılmalıdır. Həlləri araşdırarkən alternativ həllər yaradılarkən və müqayisə edilərkən özgəninkiləşdirmə xərcləri, sürücü vərdişləri, yol hərəkəti təhlükəsizliyi və gecikmələr kimi amillər də nəzərə alınmalıdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Sabina Burjaliyeva, Goshgar Rasulov (2024) Baki Şəhərində Yolların Tixac Problemi Və Monorels Nəqliyyat Vasitəsinin Təklifi, Conference: International Scientific And Practical, Azerbaijan, Baku
2. Mustafa ILICALI, Süleyman SARAÇ (2019) Trafik Sıkışıklığının Azaltılmasında Ulaşım Çözümlerinin Etkisi, Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi 2(2):93-107
3. Chong L., Huapu L. (2006), Study of Traffic Information Analysis and Decision Support System Based on Grid Computing, International Journal of Information Technology Vol. 12 No.6.
4. De Palma, A. ve Lindsey, R. (2011). Traffic Congestion Pricing Methodologies and Technologies. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19(6), 1377-1399.
5. Downs, A. (2012) “The Law of Peak-Hour Expressway Congestion”. Traffic Quarterly, Vol. 16, No. 3, pp. 393-409.
6. Hu Guangliang, Ru Xiuli, Hu Feifei (2014) Research on Countermeasures for Easing Traffic Congestion in Small and Medium Size Cities -- case: Shaoxing [J]. Northern Economy and Trade, 73-74+78.
7. Khan, A.M. (2001). Reducing Traffic Density: The Experience of Hong Kong and Singapore. Journal of Urban Technology, 8(1), 69-87.
8. Lindsney, C. Robin ve Verhoef, E. (2001). Traffic Congestion and Congestion Pricing. Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 00-101/3, Tinbergen Institute, Amsterdam and Rotterdam.
9. Metz, D. (2018). Tackling Urban Traffic Congestion: The Experience of London, Stockholm and Singapore. Case Studies on Transport Policy, 6(4), 494- 498.
10. Toole, R. (2009) Gridlock: Why we are stuck in traffic and what to do about it. Washington, DC: The Cato Institute.
11. Zhu Mingkun, Xia Jia, Cheng Shuang (2015) Improvement of Traffic Congestion by Sophisticated Designed Roads --- case: Bao'an, Shenzhen [J]. Traffic & Transport (Academic Edition) 64-68.



Gündəlik Həyatda Dəmir Yolu Nəqliyyatının Rolu

Fatimə Əfəndi^{1*}, Şəfiqə Musayeva², Ayşən Rüstəmli³,
Mülayim Osmanova⁴, Səlim Məmmədov⁵

¹²³⁴⁵Logistika və Nəqliyyat fakültəsi, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan
m154as2@gmail.com

Xülasə

Müasir urbanizasiya şəraitində nəqliyyat sistemlərinin effektivliyi əhalinin həyat keyfiyyətini müəyyən edən strateji amillərdən biridir. Təqdim olunan məqalədə dəmir yolu nəqliyyatının insanların gündəlik həyatındakı rolu sosial, iqtisadi, ekoloji və mədəni aspektlərdən araşdırılmışdır. Tədqiqatda dəmir yolunun yalnız fiziki yerdəyişmə vasitəsi deyil, həm də fərdlərin həyat tərzinə, zaman menecmentinə və sosial inteqrasiyasına təsir göstərən mühüm nəqliyyat sistemi olduğu əsaslandırılmışdır. Məqalədə dəmir yolunun sənişinlərə vaxta qənaət imkanı yaratması, nəqliyyat xərclərinin optimallaşdırılması və gündəlik hərəkətliliyin planlı təşkili məsələləri təhlil edilmişdir. Eyni zamanda, dəmir yolu infrastrukturunun avtomobil sıxlığının və tıxacların azaldılmasındakı rolu, atmosfərə atılan zərərli qazların minimuma endirilməsi vasitəsilə ekoloji dayanıqlığa verdiyi töhfələr göstərilmişdir. Sorğu nəticələri əsasında dəmir yolunun sənişinlərin psixoloji rifahına və sosial bərabərliyin təmin olunmasına müsbət təsiri qeyd edilmişdir. Araşdırmanın nəticəsinə əsasən, müasir texnologiyalarla təchiz edilən və düzgün idarə olunan dəmir yolu şəbəkəsi şəhərlərin nəqliyyat yükünü azaldır, regionlararası sosial-iqtisadi əlaqələri gücləndirir və dayanıqlı inkişaf modelinə keçidi sürətləndirir. Məqalədə sənişin məmnuniyyətini artırmaq üçün xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi və infrastrukturun əlçatanlığının təmin olunması istiqamətində təkliflər irəli sürülmüşdür.

Açar sözlər: Dəmir Yolu Nəqliyyatı, Gündəlik Hərəkətlilik, Dayanıqlı İnkişaf, Nəqliyyat İqtisadiyyatı, Sosial İnteqrasiya

Giriş

Müasir cəmiyyətdə fərdlərin iş, təhsil və sosial ehtiyaclarını qarşılamaq üçün həyata keçirdikləri gündəlik yerdəyişmələr həyat keyfiyyətinin əsas göstəricilərindən biridir. Bu hərəkətliliyin təhlükəsiz, səmərəli və vaxtında reallaşması urbanizasiya prosesinin effektivliyindən birbaşa asılıdır (Banister, 2008). Bu kontekstdə dəmir yolu nəqliyyatı yüksək daşıma qabiliyyəti və strateji üstünlükləri ilə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Hazırda şəhər mühitində artan avtomobilləşmə tendensiyası ciddi tıxacları, ekoloji çirklənməyə və fərdlərin zaman itkisinə səbəb olur (UIC, 2021). Mövcud elmi ədəbiyyatda dəmir yolu infrastrukturunun bu problemlərin həllindəki rolu qeyd olunsa da, sənişinlərin fərdi davranış modellərinə və gündəlik həyat tərzinə təsiri məsələsi hələ də aktual tədqiqat obyektidir (Rodrigue, 2020). Xüsusilə regionlararası inteqrasiya və sosial bərabərliyin təmin olunmasında dəmir yolunun potensialından tam istifadə edilməməsi bu sahədə yeni araşdırmalara ehtiyac yaradır (Banister, 2008).

Təqdim olunan tədqiqat işinin əsas məqsədi dəmir yolu nəqliyyatının insanların sosial və iqtisadi həyatına təsirini kompleks şəkildə araşdırmaqdır. Bu məqsədə çatmaq üçün qarşıya sənişin məmnuniyyətini müəyyən edən faktorların təhlili, dəmir yolunun ekoloji üstünlüklərinin qiymətləndirilməsi və sistemin təkmilləşdirilməsi üçün təkliflərin hazırlanması kimi vəzifələr qoyulmuşdur. Tədqiqat çərçivəsində mövcud infrastrukturun sənişin gözləntilərinə uyğunluğu sorğu metodu vasitəsilə yoxlanılmışdır.

Tədqiqat işi giriş, metodologiya, nəticələrin təhlili və yekun nəticə bölmələrindən ibarətdir. Birinci hissədə problemin aktuallığı araşdırılmış, ikinci hissədə tətbiq olunan metodlar təqdim edilmiş, sonrakı hissələrdə isə əldə olunan nəticələr təhlil edilərək təkliflər irəli sürülmüşdür.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda müasir urbanizasiya şəraitində dəmir yolu nəqliyyatının fərdi və sosial həyatdakı rolunu müəyyən etmək məqsədilə kəmiyyət tədqiqat metodu (quantitative research) tətbiq edilmişdir (Creswell, 2014). Məlumatların toplanması üçün Google Forms platforması üzərindən hazırlanmış onlayn anket-sorğu texnikasından istifadə olunmuşdur. Sorğu elektron formatda respondentlərə təqdim edilmişdir. Bu yanaşma məlumatların operativ toplanmasını və respondentlərin anonimliyinə riayət olunmasını təmin etmişdir.

Tədqiqat prosesi aşağıdakı mərhələlər üzrə həyata keçirilmişdir:

1. Respondentlərin seçilməsi: Sorğuda müxtəlif yaş və sosial qrupları təmsil edən, dəmir yolu infrastrukturundan aktiv və ya potensial istifadəçi olan şəxslər iştirak etmişdir.
2. Ölçmə aləti: Respondentlərə cəmi 10 sualdan ibarət strukturlaşdırılmış anket təqdim olunmuşdur. Suallar sərnişinlərin istifadə tezliyini, motivasiyalarını, qarşılaşdıqları problemləri və sistemin təkmilləşdirilməsi ilə bağlı gözləntilərini ölçməyə yönəlmişdir.
3. Məlumatların emalı: Toplanmış 43 respondentin cavabları vizuallaşdırılmış və statistik analiz metodları ilə təhlil edilmişdir.

Tədqiqatın etibarlılığını təmin etmək üçün əldə edilən nəticələr faiz göstəriciləri ilə ifadə olunmuşdur. Sorğu nəticələrinə əsasən əsas indikatorlar aşağıdakı kimi qruplaşdırılmışdır:

- İstifadə intensivliyi: Respondentlərin 23.3%-i hər gün, 32.6%-i isə ayda bir dəfə dəmir yolundan istifadə edir. Bu, sistemin həm gündəlik mobillik, həm də periodik səyahətlər üçün əhəmiyyətini göstərir.
- Əsas motivasiya faktoru: Sərnişinlərin 47.6%-i dəmir yolunu üstün tutma səbəbi kimi "vaxta qənaət" amilini qeyd etmişdir. Bu, dəmir yolunun avtomobil nəqliyyatı qarşısında ən böyük rəqabət üstünlüyüdür.
- Sosial-psixoloji aspektlər: Yol müddətində respondentlərin 40.5%-i musiqi dinləmək və ya sosial şəbəkələrdən istifadə etməklə asudə vaxtını dəyərləndirir, 19%-i isə elmi-işgüzar fəaliyyətlə məşğul olur.
- İnfrastruktur gözləntiləri: Sərnişinlərin 42.9%-i nəqliyyatın intensivləşməsi üçün "qatarların sayının artırılmasını" əsas şərt kimi irəli sürmüşdür.

Dəmir yolunun cəmiyyət üçün ən mühüm faydası hansıdır?



- Şəhərlərdə tıxacların azalması
- İnsanların vaxta qənaət etməsi
- Regionlarla şəhərlər arasında əlaqənin güclənməsi
- Hava çirklənməsinin azalması
- Fərqli sosial qruplar üçün əlçatan nəqliyyat olması

Diaqram 1. Dəmir yolu sistemindən istifadənin artırılmasına təsir edən amillər

Nəticə

Aparılan tədqiqat göstərir ki, dəmir yolu nəqliyyatı müasir cəmiyyətin sosial-iqtisadi strukturunda strateji əhəmiyyət kəsb edən dayanıqlı nəqliyyat sistemidir. Tədqiqat nəticəsində əldə olunmuş əsas nailiyyətlər və üstünlüklər aşağıdakılardır:

- Sosial-İqtisadi Fayda: Dəmir yolu sərnişinlərə vaxta qənaət, xərclərin azaldılması və planlı hərəkət imkanı təqdim edir.
- Ekoloji Dayanıqlılıq: Şəhərlərdə tıxacların qarşısının alınması və atmosfərə atılan zərərli qazların miqdarının azaldılmasında həlledici rol oynayır.
- Regional İntegrasiya: Regionlararası əlaqələrin güclənməsinə və iqtisadi canlanmaya birbaşa təsir göstərir.

Tədqiqat çərçivəsində keçirilən sorğuların nəticələrinə (xüsusilə respondentlərin 42,9%-nin qatarların sayının artırılmasını tələb etməsinə) əsaslanaraq aşağıdakı tədbirlərin görülməsi məqsəduyğun hesab edilir:

1. İnfrastruktur və Xidmətin Təkmilləşdirilməsi:

- Qatarların hərəkət qrafiki sərnişin sıxlığına və gündəlik tələbatlara uyğun optimallaşdırılmalıdır.
- Stansiyalarda təhlükəsizlik tədbirləri gücləndirilməli, rəqəmsal məlumat lövhələri və bilet əldə etmə sistemləri sadələşdirilməlidir.

2. İnküzivlik:

- Əlilliyi olan şəxslərin stansiyalara və qatarlara çıxışını tam təmin etmək üçün xüsusi infrastruktur (panduslar, liftlər və s.) genişləndirilməlidir.

3. Maarifləndirmə:

- Dəmir yolunun ekoloji və iqtisadi üstünlükləri barədə ictimai maarifləndirmə kampaniyaları aparılmalı, bu nəqliyyat növünün populyarlığı artırılmalıdır.

4. Ölçətanlıq və Keyfiyyət:

- Stansiyalara nəqliyyat çıxışının asanlaşdırılması, reyslərdə gecikmələrin minimuma endirilməsi və xidmət personalının peşəkarlığının artırılması sərnişin məmnuniyyətini yüksəldən əsas amillər kimi diqqət mərkəzində saxlanılmalıdır.

Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, dəmir yolu sadəcə bir yerdən başqa yerə hərəkət vasitəsi deyil, müasir inkişafın və ekoloji təhlükəsizliyin əsas sütunlarından biridir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
2. Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
3. International Union of Railways. (2021). *Rail transport and environment: Facts and figures*. <https://uic.org>
4. Rodrigue, J. P. (2020). *The geography of transport systems* (5th ed.). Routledge.



Şəhər Nəqliyyatının Tıxacları: Onun İqtisadi Artıma Təsiri və Tıxac Xərclərinin Tanınması

Azad Ədilov

SABAH Qrupları, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

azadadilov001@gmail.com

Xülasə

Lojistik, ekonomik, sosial, kültürel, stratejik, askeri ve politik alanlarda ülkeye değer katmaktadır. Lojistik faaliyeti, ulaşırmayla birlikte, ihraç ve ithal eden ülkeler ve firmalar arasındaki ulaşırmaya öncesi bilgi akışı, iletişim kanallarını ve ulaşırmaya sonrası depolama işlemlerini kapsamaktadır. Lojistik faaliyetlerin, ekonomik kalkınma ve büyümede önemi giderek artmaktadır. Ülkelerin ekonomik büyüme oranlarını artırabilmelerinde dış ticaretin, özellikle de ihracatın önemi büyüktür. Son yıllarda dış ticaret işlemleri lojistiğin önemini arttırmıştır. Lojistik sektörünün gelişmesi yeni istihdam alanı sağlaması ve böylelikle gelir oluşturması, doğrudan yatırımların olumlu etkilenmesi, ticaret hacminin artması ülke ekonomisine katkı sağlayarak ekonomik büyüme üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Ekonominin büyümesi lojistik sektörünün gelişmesine neden olmaktadır. Son illerde, xüsusən də 1990-cı illərin əvvəllərindən etibarən nəqliyyata və yol hərəkətinə artan tələbat, xüsusən də böyük şəhərlərdə tıxaclar, gecikmələrə, qəzalara və ekoloji problemlərə səbəb olmuşdur. Bu əhəmiyyətli artım bir neçə amillə əlaqələndirilə bilər, o cümlədən avtomobillərə çıxışın artması (orta gəlirli demoqrafik qrupun alıcılıq qabiliyyətinin artması ilə əlaqədar), kreditlərin əlçatanlığının sadələşdirilməsi, pərakəndə satış qiymətlərinin azalması, istifadə olunmuş nəqliyyat vasitələrinin mövcudluğunun əhəmiyyətli dərəcədə artması, əhalinin artması, ev təsərrüfatlarının sayının azalması və vahid şəhər nəqliyyatı siyasətinin olmaması. Məqalədə tıxac xərclərinin təhlili və onun iqtisadi artıma təsiri yer almaqdadır. Nəticə olaraq, tıxacların azaldılması üçün nəqliyyatın effektiv idarə olunması, ictimai nəqliyyatın inkişafı və ağıllı nəqliyyat sistemlərinin tətbiqi iqtisadi artımın davamlılığı baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: Şəhər Nəqliyyatı, Tıxac, İqtisadi Artım, Xərclər

Giriş

Gündəlik səyahət edənlər üçün nəqliyyatın yaratdığı narahatlıq göz qabağındadır. Lakin şəhərlərə və iqtisadiyyata təsirini anlamaq çoxlarının istədiyi qədər sadə deyil. İqtisadi baxımdan, tıxacın əsas təsiri işə getmək əvəzinə daha çox vaxt sərf etməkdən yaranan məhsuldarlığın itirilməsi; görüşləri təxirə salmaq (və ya buraxmaq); uzun səyahət müddəti səbəbindən fərdlər arasında qarşılıqlı əlaqələri və ya şəxsi fəaliyyətləri kənara qoymaq; və eyni şeyləri sərbəst axın sürətində yerinə yetirməyi etibarlı şəkildə planlaşdırma bilsəydik, əks halda lazım olduğundan daha çox vaxt sərf etməkdir. Bir sözlə, bir bölgənin iqtisadiyyatı insanlar daha çox işləməyə və dəyərli hesab etdikləri şeylərə sərf etdikdə və onları yerinə yetirmək üçün səyahətə daha az vaxt sərf etdikdə daha yaxşı nəticə göstərir. Getmək istədiyimiz insanlara və yerlərə çıxışı təmin etmək üçün nəqliyyat sistemimizdən asılıyıq.

"Tıxac" termini həm mütəxəssislər, həm də geniş ictimaiyyət tərəfindən nəqliyyat vasitələrinin hərəkəti kontekstində tez-tez istifadə olunur. Qısa Oksford İngilis dili lüğətində (Oxford University Press, 2002) verilən tərif belədir: "xüsusilə nəqliyyatın qeyri-adi yığılması, sıxlığı və ya maneəsi". Bu termin, hər birinin tədricən və fasiləli sürətlə irəlilədiyi xeyli sayda nəqliyyat vasitəsinin hərəkətdə olduğu bir vəziyyəti ifadə etmək üçün başa düşülür. Buna

baxmayaraq, qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda göstərilən təriflər subyektivdir və dəqiqlikdən məhrumdur. Trafik tıxacları, yoldan istifadə etməyə çalışan nəqliyyat vasitələrinin sayının yol şəbəkəsinin layihələndirmə qabiliyyətini aşması səbəbindən yol hərəkətinin gecikməsi vəziyyəti (yəni, yol hərəkəti axınının ağlabatan sürətlərdən aşağı yavaşlaması) kimi müəyyən edilir. Trafik tıxacları bir çox şəhər ərazilərində geniş şəkildə artan problem kimi qəbul edilir, çünki bir çox ərazilərdə nəqliyyat vasitələrinin ümumi həcmi (nəqliyyat vasitəsi-mil və ya nəqliyyat vasitəsi-kilometr səyahətinin ümumi ölçüləri ilə əks olunduğu kimi) nəqliyyat sisteminin ümumi tutumundan daha sürətli artmağa davam edir (Bayraktutan, 2016). Nəticədə yaranan yol hərəkətinin yavaşlaması insanlara və biznes iqtisadiyyatına geniş mənfi təsirlər göstərə bilər, o cümlədən hava keyfiyyətinə (əlavə nəqliyyat vasitələrinin tullantıları səbəbindən), həyat keyfiyyətinə (şəxsi vaxt gecikmələri səbəbindən) və biznes fəaliyyətinə (işçi qüvvəsi, təchizatçı və müştəri bazarları üçün əlavə xərclər və azalmış xidmət sahələri səbəbindən) təsirlər.

Bir çox metropoliten ərazilərində tıxacın artmasının ərazinin iqtisadiyyatına (biznes satışları və gəlirləri) necə mənfi təsir göstərə biləcəyi ilə bağlı narahatlıqlar və bu problemləri həll etmək üçün alternativ layihələr və ya siyasətlərlə əlaqəli nisbi investisiya gəliri ilə bağlı narahatlıqlar artır. Təəssüf ki, tıxacın şiddəti və modeli, eləcə də onu həll etmək üçün alternativ layihələrin və ya siyasətlərin effektivliyi ərazidən əraziyə çox dəyişə bilər. Bu, metropoliten ərazisinin ölçüsündən və planından, mövcud nəqliyyat seçimlərindən və trafik generatorlarının təbiətindən asılı ola bilər (Bayraktutan, 2016).

Eynilə, tıxacın pisləşməsinin iqtisadi dəyəri və ya tıxacın azaldılmasının iqtisadi faydası üçün vahid bir qayda yoxdur, çünki bu da ərazinin spesifik iqtisadi profilindən, eləcə də unikal tıxac modelindən asılı olaraq dəyişə bilər. Bütün bu məsələlər əvvəlcə həll edilməlidir, əvvəl isə alternativ tıxacın azaldılması strategiyalarının fayda-xərc nisbətini və ya investisiya gəlirini araşdırmaq üçün həqiqətən mənalı səylər göstərilməlidir. Bu, Milli Kooperativ Magistrat Tədqiqat Proqramının şəhər tıxacının iqtisadi təsirlərinin öyrənilməsinə maliyyələşdirməsi üçün motivasiya idi (Akben, 2018).

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda əsasən nəzəri və müqayisəli təhlil metodlarından istifadə olunur. Tıxacların şəhər nəqliyyatına, iqtisadi artıma, logistika fəaliyyətinə və nəqliyyat sisteminin səmərəliliyinə təsiri elmi mənbələrə əsaslanaraq öyrənilmişdir. Mövzunun nəzəri əsaslarını müəyyən etmək üçün müxtəlif yerli və xarici müəlliflərin elmi əsərləri və iqtisadiyyat və logistika sahələrində aparılan tədqiqatlar təhlil edilmişdir.

Şəhər nəqliyyatında tıxacların səbəbləri və onların iqtisadi və sosial nəticələri sistemli yanaşma ilə araşdırılmışdır. Tıxacların səyahət vaxtının artmasına, nəqliyyat vasitələrinin istismar xərclərinin artmasına, biznes fəaliyyətinin gecikməsinə və məhsuldarlığın azalmasına təsiri iqtisadi təhlil vasitəsilə qiymətləndirilmişdir. Eyni zamanda, logistika sektorunun iqtisadi artıma təsiri ilə bağlı statistik və nəzəri məlumatlardan istifadə edilmişdir.

Müxtəlif ölkələrdə və şəhərlərdə tətbiq olunan nəqliyyat və logistika siyasətləri müqayisəli təhlil vasitəsilə araşdırılmış və onların iqtisadi nəticələri qiymətləndirilmişdir. Tədqiqatın nəticələri elmi ədəbiyyat, beynəlxalq tədqiqat proqramları və iqtisadi yanaşmalar nəzərdən keçirilməklə əsaslandırılmışdır.

Bundan əlavə, ümumiləşdirmə və nəticə çıxarma metodlarından istifadə edilmiş və əldə edilən məlumatlara əsasən, ictimai nəqliyyatın inkişafı, ağıllı nəqliyyat sistemlərinin tətbiqi və nəqliyyatın idarə edilməsinin təkmilləşdirilməsi də daxil olmaqla, şəhər yerlərində tıxacların azaldılması üçün təkliflər verilmişdir.

Müxtəlif növ tıxac xərclərinin tanınması

Tıxacın iqtisadi təsirlərini qiymətləndirmək üçün bir yanaşma hazırlamaq üçün əvvəlcə tıxac əlaqəli iqtisadi təsirlərin müxtəlif formalarının tipologiyasını müəyyən etmək lazımdır. Bundan sonra, onların biznesə necə təsir etdiyinin ümumi xüsusiyyətləri müəyyən edilməlidir.

Səyahət Xərxi: Əslində, tıxac ehtiyatlarının artması o deməkdir ki, yol sistemi daxilində səyahətlərin bir hissəsi - avtomobillər, yük maşınları və avtobuslar da daxil olmaqla - sərnişinlər üçün səyahət müddətinin uzadılmasına və operatorlar üçün nəqliyyat vasitələrinin istismar xərclərinin artmasına səbəb olacaq. Sürücülər və sərnişinlər tərəfindən çəkilən əlavə vaxt və xərclər, ənənəvi mühəndislik əsaslı fayda-xərc təhlilləri ilə əhatə olunduğu kimi, səyahət sisteminin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsində əsas elementləri təşkil edir. Keçmişdə vaxtın dəyəri, səyahət vaxtının etibarlılıq amilləri, nəqliyyat vasitələrinin istismar xərcləri və tıxacla əlaqəli qəza xərcləri ilə bağlı çoxsaylı tədqiqatlar aparılmışdır (Ciccone, 2011).

Əlavə Biznes: Əməliyyat Xərcləri. Aydınır ki, yollardakı tıxaclar, xüsusən də mal və xidmətlərin çatdırılması ilə bağlı bizneslərə əlavə maliyyə yükü yarada bilər. Məsələn, vaxta həssas yük daşınmasının gecikməsi bizneslərə həm göndərənlər, həm də məhsulları alanlar üçün inventar, logistika, etibarlılıq və vaxtında emal xərcləri daxil olmaqla əlavə xərclər yarada bilər. Bu əlavə biznes xərclərinin tanınması, yük daşıma sistemlərinin əsl "istifadəçiləri"nin yük maşını sürücüləri deyil, yük göndərənlər və qəbul edənlər olduğuna dair artan bir fikirlə uyğun gəlir. Bu xərclərin dəyərləri logistika və vaxtında cədvəlləşdirmə sahələrində yeni tədqiqatlar toplusundan əldə edilə bilər (McCann, 2013). Bundan əlavə, mövcud tədqiqatlar göstərir ki, bizneslər rəqabətli şəhər əmək bazarlarında işçilərinin gediş-gəliş xərclərindəki məkan fərqlərini kompensasiya etməyə meyllidirlər (Zax, 2005).

Məhsuldarlıq: Aydınır ki, tıxac səyahət xərclərinə və əlavə biznes əməliyyat xərclərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Lakin, bunun biznes məhsuldarlığına təsiri bu birbaşa maliyyə təsirlərindən kənara çıxır. Geniş şəkildə qəbul edilir ki, tıxaclar müəyyən bir müddət ərzində xidmət göstərilə və ya əldə edilə bilən biznes, əmək, müştəri çatdırılması və alıcı bazarı sahələrinin məkan miqyasını azalda bilər və bu sahələrə münasib səyahət müddəti ilə xarakterizə olunur. Effektiv "bazar əhatə dairəsinin" bu azalması həm işçilərin məşğulluq imkanlarına, həm də istehlakçıların pərakəndə satış məntəqələrinə çıxışına mane ola bilər. Təsirə məruz qalan bizneslərin perspektivindən bu, ixtisaslaşmış işçi qüvvəsinə və ya material resurslarına çıxışın azalmasına, eləcə də bazar əhatə dairəsinin azalmasına səbəb ola bilər. Modelləşdirmə tədqiqatlarının getdikcə artan bir hissəsi bu bazar miqyasının ölçüsünü və əlçatanlıq amillərini araşdırır (Treyz, 2006, Ciccone, 2011)

Logistika Sektorunun İqtisadi Artımaya Təsiri

Konseptual olaraq, iqtisadi artım ölkənin istehsalının artması, mal və xidmət istehsalında irəliləyiş, texnoloji yeniliklərlə ayaqlaşmaq və nəticədə milli gəlirin artmasıdır (Ergün, 2013).

İqtisadi artım istehsal amillərinin (əmək, təbii sərvətlər, kapital, sahibkarlıq) yaxşılaşması və mal və xidmət istehsalında müşahidə olunan davamlı artımlar kimi müəyyən edilir. İqtisadi artım real Ümumi Milli Məhsulun (ÜDM) artmasıdır. Ümumi milli məhsul, müəyyən bir dövrdə ölkə vətəndaşları tərəfindən onun sərhədləri daxilində və xaricində istehsal edilən mal və xidmətlərin bazar dəyəridir. Daxil olan amil gəliri ilə xaric olan amil gəliri arasındakı fərq xalis xarici gəlir adlanır. Daxil olan amil gəliri xaric olan amil gəlirindən çoxdursa, xalis xarici gəlir müsbətdir; azdırsa, xalis xarici gəlir mənfidir (Çelik, 2009, s. 3). İqtisadi artım ümumiyyətlə zamanla milli gəlirin artmasına aiddir.

Milli gəlir, bir ildə istehsal olunan mal və xidmətlərin bazar qiymətləri ilə pul dəyəridir. Ümumi Milli Məhsul (ÜMM) müəyyən bir müddət ərzində (ümumiyyətlə bir il hesab olunur) ölkə iqtisadiyyatında istehsal olunan mal və xidmətlərin pul dəyəridir. Milli Gəlir ÜMM-dən dolayı vergilər (gömrük və aksiz rüsumları, rüsumlar, müəyyən istehlak vergiləri və s.) çıxıldıqdan sonra qalan xalis gəlirdir (Zengin, 2010).

İqtisadiyyatların ölçüsü ÜDM ilə ölçülür. ÜDM artımı həmçinin iqtisadi artım adlanır. ÜDM-in iki növündən danışa bilərik: nominal və real. Nominal ÜDM inflyasiya üçün tənzimlənməmiş ÜDM, real ÜDM isə inflyasiya üçün tənzimlənməmiş ÜDM-dir. İqtisadi artım ÜDM artımından asılıdır. Əgər iqtisadiyyatın ÜDM-i əvvəlki ilə nisbətən artıbsa, bu, iqtisadiyyatın böyüdüüyü deməkdir. İqtisadi artıma nail olmağın bir çox yolu olsa da,

tədqiqatımızda araşdırılacaq əsas mövzu iqtisadi artımla logistika fəaliyyətləri arasındakı əlaqədir. Logistika fəaliyyətlərinin iqtisadi inkişafda və böyümədə əhəmiyyəti artır.

Logistika milli gəlirin artması, alıcılıq qabiliyyətinin artması, məşğulluğun artması səbəbindən işsizliyin azalması, mənəviyyatın və motivasiyanın artması, təhsil səviyyəsinin artması, geosiyasi və geostrateji əhəmiyyətin artması, ikitərəfli və çoxtərəfli müqavilələr, logistika mərkəzləri, siyasi güc və liderlik, strateji tərəfdaşlıqlar, rol modelləri və model tərəfdaşlıqlar, gəlir bölgüsünün ədalətliyi, vergi gəlirlərinin artması, rəqabət qabiliyyətinin artması, iqtisadi artım və inkişaf, xarici ticarət həcmnin artması və xarici investisiyaların artması kimi bir çox sahələrə töhfə verir (Duran və Türkoğlu, 2019).

Logistika fəaliyyətləri iqtisadi artıma müsbət təsir göstərir. Xarici ticarət, xüsusən də ixrac, ölkələrin iqtisadi artım templərini artırmasında böyük əhəmiyyət kəsb edir. İxrac gəlirləri hesabına əldə edilən valyuta iqtisadi artıma müsbət təsir göstərir. İxracın iqtisadi artıma müsbət təsiri ölkə iqtisadiyyatı üçün vacibdir. Logistika sektoru həmçinin ixrac vasitəsilə valyuta gəliri təmin edir. Ölkəyə daxil olan valyuta cari hesab kəsirinin bağlanması və ölkənin artımında mühüm rol oynayır.

Nəticə

Logistika fəaliyyətlərinin tədiyyə balansına, gəlirə, daxili idxala təsirə, əmək multiplikatorunun təsirinə, ixraca və gəlir bölgüsünə tənzimləyici təsirə, məşğulluğun artmasına və yeni iş yerlərinin yaradılmasına, iqtisadi inkişafa və valyuta gəlirlərinə, kiçik biznesin inkişafına, həyat səviyyəsinin və həyat keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına müsbət iqtisadi təsirləri var. Son illərdə xarici ticarət əməliyyatları logistikanın əhəmiyyətini artırır. Logistika fəaliyyətinin iqtisadi inkişafda və artımda əhəmiyyəti durmadan artır. Logistika fəaliyyətinin iqtisadi artıma müsbət təsirləri var. Xarici ticarət, xüsusən də ixrac, ölkələrin iqtisadi artım templərini artırmalarına imkan yaratmaqda böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Logistika sektorunun inkişafı yeni iş imkanları yaratmaqla və beləliklə, gəlir əldə etməklə milli iqtisadiyyata töhfə verir, birbaşa investisiyalara müsbət təsir göstərir və ticarət həcmi artırır, beləliklə, iqtisadi artıma müsbət təsir göstərir. İqtisadi artım logistika sektorunun inkişafına gətirib çıxarır.

Logistika sektorunun inkişafı yeni iş yerləri yaratmaqla və gəlir əldə etməklə milli iqtisadiyyata töhfə verir, birbaşa investisiyalara müsbət təsir göstərir və ticarət həcmi artırır və beləliklə, iqtisadi artıma müsbət təsir göstərir. İqtisadi artım logistika sektorunun inkişafına gətirib çıxarır. Logistika sisteminin düzgün işləməsi və inkişafı üçün infrastruktur getdikcə daha vacib hala gəlir. İlk növbədə, liman, dəmir yolu və avtomobil yolları infrastrukturunun inkişafı logistika xidmətlərinin effektiv olmasına imkan verir. Ölkələr iqtisadi artımlarını artırmaq üçün logistika infrastrukturuna investisiyaları stimullaşdırmağa çalışmalıdırlar.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Akben, İ. ve Bahçeci, A. P. (2018), "Kentsel Lojistik: Gaziantep Örneği", *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 5(6), 211-229.
2. Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2016), "Lojistik Maliyetler ve Lojistik Performans Ölçütleri", *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 95-112.
3. Bayraktutan, Y. ve Özbilgin, M. (2016), "Lojistik Maliyetler ve Lojistik Performans Ölçütleri", *Maliye Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 95-112
4. Duran, G. ve Türkoğlu, M. (2019). *Lojistik Sektörünün Önemi Ve Bölgesel Kalkınmaya Katkıları*. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Uygulamalı Sosyal Bilimler ve Güzel Sanatlar Dergisi (SOSGÜZ), Yıl: 2019, Cilt: 1, Sayı: 2, ss.:86-97
5. Ergun, T. (2013). *Makroekonomiye Giriş*. Ankara: Detay Yayıncılık.
6. Keskin, H. ve Sungur, O. (2010) "Bölgesel Politika Ekseninde Yaşanan Dönüşüm: Türkiye’de Kalkınma Planlarında Bölgesel Politikaların Değişimi". *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21, 271- 293.

7. Zengin, B. (2010), Turizm Sektörünün Türkiye Ekonomisine Reel ve Moneter Etkileri, Akademik İncelemeler Dergisi Cilt:5 Sayı:1.
8. Ciccone, A. and R. Hall.(2011) “Productivity and Density of Economic Activity,” The American Economic Review, V. 86, n.1, March, pp. 54-70.
9. McCann, Philip.(2013) “The Logistics – Cost Location – Production Problem,” Journal of Regional Science, 33:4, pp. 503-516.
10. Treyz, Frederick and J. Bumgardner: (2006)“Market Shares for Non-Manufacturing Industries: A Monopolistic Competition Model Calibration for Michigan,” 5th World Congress of the Regional Science Association International, Tokyo,.
11. Zax, J.S.(2005) “Compensation for Commutes in Labor and Housing Markets.” Journal of Urban Economics, v.30,192-207.



Şəhər Logistika və Şəhər Nəqliyyatı Problemlərinin Təhlili

Ülviyyə Hüseynzadə

SABAH Qrupları, Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

ulyahuseynzade15@gmail.com

Xülasə

Bu tədqiqat işi şəhər logistika və şəhər nəqliyyatı sistemlərində mövcud olan əsas problemlərin kompleks şəkildə təhlilinə həsr olunmuşdur. Müasir dövrdə urbanizasiyanın sürətlənməsi, əhali sayının artması və iqtisadi fəaliyyətin genişlənməsi şəhərlərdə nəqliyyat və logistika sistemlərinə olan tələbatı əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Şəhər logistika və nəqliyyat sistemləri insanların gündəlik hərəkətliliyinin təmin edilməsində, eləcə də malların istehsalçıdan istehsalçıya ötürülməsində mühüm rol oynayır. Bu işə öz növbəsində tıxaclar, ekoloji çirklənmə, infrastrukturun yüklənməsi və çatdırılma proseslərində gecikmələr kimi problemləri daha da aktuallaşdırmışdır. Çalışma çərçivəsində şəhər logistika anlayışı, onun əsas komponentləri və şəhər nəqliyyat sisteminin strukturu izah edilmiş, həm yük, həm də sərnişin daşımalarında qarşıya çıxan çətinliklər təhlil olunmuşdur. Eyni zamanda, problemlərin yaranma səbəbləri olaraq plansız şəhərləşmə, nəqliyyat siyasətinin qeyri-effektivliyi və fərdi avtomobillərdən həddindən artıq istifadə kimi amillər araşdırılmışdır. Dünyanın hər yerində ictimai nəqliyyatı təşviq edən və tənzimləyən yanaşmalar qəbul edilir və prioritetlər insanların və mövcud infrastrukturun daha səmərəli istifadəsinə yönəldilir. Çalışmanın nəticə hissəsində nəqliyyat problemlərinin aradan qaldırılması və inkişaf etdirilməsi üçün müəyyən təkliflər irəli sürülmüşdür.

Açar sözlər: Şəhər Logistika, Şəhər Nəqliyyatı, Problemlər

Giriş

Şəhər əraziləri yüksək iqtisadi fəaliyyət konsentrasiyası ilə xarakterizə olunur. Bunlar nəqliyyat sistemləri də daxil olmaqla infrastrukturular tərəfindən dəstəklənən mürəkkəb məkan strukturlarıdır. Şəhərin mürəkkəbliyinin miqyası və pozuntulara qarşı həssaslığı birbaşa mütənasibdir; şəhər nə qədər böyükdürsə, xüsusən də mürəkkəbliyi effektiv şəkildə idarə olunmazsa, pozuntu potensialı bir o qədər yüksəkdir. Şəhər məhsuldarlığının səmərəliliyi nəqliyyat sisteminin işçilərin, istehlakçıların və yüklərin birdən çox mənbə və təyinat yeri arasında hərəkətini asanlaşdırmaqda effektivliyindən asılıdır. Bundan əlavə, limanlar, hava limanları və dəmir yolu stansiyaları kimi nəqliyyat terminalları şəhər ərazilərində yerləşir və beləliklə, şəhəri regional və qlobal mobillik sistemində möhkəmləndirir.

Şəhər əraziləri hərəkətin əhəmiyyətli generatorları və cəlbediciləri kimi müəyyən edilmişdir ki, bu da özünü gücləndirən xüsusiyyətlər nümayiş etdirən bir sıra coğrafi paradoksların ortaya çıxmasına səbəb olur. Məsələn, ixtisaslaşma nəqliyyat tələbatının artmasına, aqlomerasiya isə tıxaclarla səbəb ola bilər. Aydındır ki, zaman keçdikcə avtomobil asılılığı vəziyyəti yaranıb və bu da digər nəqliyyat növlərinin rolunun azalmasına səbəb olub. Bu da öz növbəsində şəhər hərəkətliliyinə alternativlərin daha da məhdudlaşdırılmasına gətirib çıxarıb (Kababulut, 2017). Yuxarıda qeyd olunan amillərə əlavə olaraq, avtomobil asılılığına daha iki əhəmiyyətli amil də müəyyən edilib: aşağı qiymətlər, planlaşdırma və investisiya təcrübələri.

Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi şəhər logistika və şəhər nəqliyyatı sahəsində mövcud problemləri təhlil etmək və onların həlli səbəblərini müəyyən etməkdir. Məqsəd müasir yanaşmalara əsaslanan mümkün həll yollarını müəyyən etmək və araşdırmaqdır. Bu istiqamətdə

aparılan təhlillər şəhər mühitində nəqliyyatın optimallaşdırılması və logistika sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün mühüm praktik əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda əsas metodoloji yanaşma nəzəri təhlil, müqayisəli təhlil və sistemli yanaşmadan ibarət idi. Bunlar şəhər logistikası və şəhər nəqliyyat sistemlərində mövcud problemləri araşdırmaq üçün istifadə edilmişdir. Tədqiqat zamanı həm yerli, həm də beynəlxalq elmi ədəbiyyat, məqalələr və şəhər nəqliyyatı və logistika sistemlərinin fəaliyyəti ilə bağlı müxtəlif tədqiqat işlərinin geniş icmal aparılmışdır. Daha sonra əldə edilən məlumatlar təhlil edilmiş və ümumiləşdirilmişdir. Tədqiqat prosesi zamanı şəhər logistikası anlayışı, onun fundamental prinsipləri və şəhər nəqliyyat sistemlərinin strukturu nəzəri baxımdan araşdırılmışdır. Şəhər ərazilərinin üzləşdiyi çətinliklərə səbəb olan amilləri daha dərinlən anlamaq məqsədilə səbəb-nəticə əlaqələrini müəyyən etmək üçün bir sıra məsələlər təhlil edilmişdir. Bu məsələlərə tıxaclar, avtomobil asılılığı, ictimai nəqliyyatın zəifliyi, infrastruktur problemləri və ətraf mühitin çirklənməsi daxil idi. Bu tədqiqatın məqsədi üçün analitik təhlil metodundan istifadə edilmiş və problemlərin yaranmasına təsir edən iqtisadi və sosial amillər müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatda müqayisəli təhlil metodundan da istifadə edilmişdir. Müxtəlif şəhərlərdə tətbiq olunan nəqliyyat və logistika yanaşmalarının müqayisəli təhlili aparılmış və onların müvafiq güclü və zəif tərəfləri qiymətləndirilmişdir. Şəhər nəqliyyat sistemlərinin idarə edilməsi, ictimai nəqliyyatın təşkili və logistika sistemlərinin optimallaşdırılması ilə bağlı beynəlxalq təcrübələr nəzərdən keçirilmişdir.

Bununla birlikdə, tədqiqat zamanı şəhər nəqliyyatı sahəsində mövcud olan problemləri həll etmək üçün bir sıra praqmatik təkliflər hazırlanmışdır. Bu təkliflər ümumiləşdirmə metodundan istifadə etməklə hazırlanmışdır. İctimai nəqliyyatın inkişafı, vahid elektron bilet sisteminin tətbiqi, velosiped zolaqlarının genişləndirilməsi, yol infrastrukturunun genişləndirilməsi və mövcud resurslardan daha səmərəli istifadə daxil olmaqla bir sıra həll yolları təklif edilmişdir.

Şəhər logistikası

Şəhər logistikası, metropoliten ərazilərində artan miqdarda yük daşınmasının çətinliklərinə cavab olaraq ortaya çıxan nisbətən yeni bir tədqiqat sahəsidir. Şəhər Logistikası İnstitutu şəhər logistikasını "bazar iqtisadiyyatı çərçivəsində nəqliyyat mühiti, tıxac və enerji istehlakı nəzərə alınmaqla şəhər ərazilərində özəl şirkətlərin logistika və nəqliyyat fəaliyyətlərinin optimallaşdırılması prosesi" kimi müəyyən edir. Əslində, bu tədqiqat sahəsinin əsas məqsədi şəhər mühitində yük paylanması səmərəliliyini artırmaq üçün strategiyaların hazırlanmasıdır (Murat, 2016). Bu, şəhər yük daşınmasını optimallaşdırmaq üçün innovativ metodologiyaların istifadəsini əhatə edir və bununla da tıxacları azaldır və ətraf mühitə təsirini minimuma endirir.

Şəhər logistikası müxtəlif formalarda paylama strategiyası kimi konsepsiya edilə bilər. Yüksək sıxlıqlı və tıxaclı mərkəzi şəhərə terminalda kənarda yerləşən və zəng edən müstəqil yük paylama sistemi xidmət göstərə bilər. Çevik marşrut boyunca çatdırılma və ya götürmə üçün müştəri xidmətləri üçün istifadə edilən nəqliyyat vasitələrinin daha kiçik olması və beləliklə, şəhər mühitində paylama üçün daha yaxşı uyğunlaşması ehtimal olunur (Požani, 2017). Şəhər terminalının özü, hər biri müvafiq təchizat zəncirlərinə bağlı olan bir sıra paylama mərkəzləri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan neytral bir obyekt ola bilər. Nəticə etibarilə, şəhərlə əlaqəli müxtəlif təchizat zəncirləri mərkəzi şəhər daxilində artan paylama səmərəliliyinə nail ola bilər.

Ümumi olaraq qiymətləndirsək şəhər logistikası, şəhər ərazilərində yük daşınmalarının paylanması nəticəsində yaranan tıxac və ətraf mühitin çirklənməsi kimi mənfi amilləri azaldan, eyni zamanda mal hərəkətlərinin səmərəli idarə olunmasını təmin edən və müştəri tələblərinə innovativ həllər yaradan bir prosesdir. Bu izahlara əsasən, şəhər logistikasının idarə edilməsi, şəhərlərə daxil olan, çıxan və dövriyyədə olan mal hərəkətlərinin effektiv idarə olunması və

istiqamətləndirilməsidir. Şəhər logistika bir sıra prinsiplər əsasında fəaliyyət göstərir (Ali, 2020).

Əlçatanlıq • Malların daşınması üçün kifayət qədər yol tutumunun, minimum tıxacın və yol, dəmir yolu, dəniz və digər nəqliyyat şəbəkələrinin əlçatanlığının təmin edilməsi. Davamlılıq • Enerji tullantıları, əlverişsiz hava şəraiti və səs-küy kimi ətraf mühitə təsirlərin minimuma endirilməsi. Yaşayış rahatlığı • İctimai sağlamlığın, yol hərəkəti təhlükəsizliyinin və sakitliyin təmin edilməsi. Davamlılıq • Şəhər logistika infrastrukturunun bütün vəziyyətlərə (təbii fəlakətlər, fəvqəladə hallar və s.) və bu cür hadisələrdən sonra sürətli bərpa prosesinə hazır olması.

Şəhər Nəqliyyatı Problemləri

Şəhər əraziləri artan dağınıqlıq yaşamağa davam etdikcə, ictimai nəqliyyat sistemlərinin tikintisi və saxlanması ilə bağlı maliyyə yükü artır. Məsələn, yalnız təxminən 80 böyük şəhər aqlomerasiyasında metro sistemi mövcuddur və bunların böyük əksəriyyəti inkişaf etmiş ölkələrdə yerləşir. Bundan əlavə, avtomobildən asılı şəhərlərin xarakterik xüsusiyyəti olan dağınıq yaşayış yerləri ictimai nəqliyyat sistemlərini şəhər hərəkətliliyi üçün daha az əlverişli edir. Bir çox şəhərlərdə ictimai nəqliyyata əlavə investisiyalar sərnişin sayının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmayıb. Torpaq sahələrinin inkişafının planlaşdırılmamış və əlaqələndirilməmiş təbiəti şəhər ətrafının sürətlə genişlənməsinə səbəb olub. Sakinlər tərəfindən ucqar ərazilərdə mənzil seçimi onların ictimai nəqliyyata potensial çıxışını məhdudlaşdırır (Özdemir, 2005). İctimai nəqliyyata həddindən artıq investisiya (investisiyaların əhəmiyyətli fayda gətirmədiyi görüldüyü yerlərdə) və az investisiya (əhəmiyyətli dərəcədə ödənilməmiş tələbat olduqda) hər ikisi mürəkkəb problemlərdir.

Bundan əlavə, ictimai nəqliyyat dövlət mülkiyyətindədir və bu da məhdud iqtisadi gəlir gətirən siyasi motivli bir xidmət deməkdir. Hətta tranzit yönümlü şəhərlərdə belə, tranzit sistemləri dövlət subsidiyalarından çox asılıdır. Əmək haqqı və gediş haqqı tənzimləndiyindən ictimai nəqliyyat sistemində rəqabət az və ya heç yoxdur və bu da sərnişin sayındakı dəyişikliklərə edilən hər hansı qiymət düzəlişlərini pozur (Bilici, 2018). Beləliklə, ictimai nəqliyyat tez-tez əlçatanlıq və sosial bərabərlik təmin etdiyi üçün, lakin iqtisadi fəaliyyətlərlə məhdud əlaqələri olduğu üçün ictimai xidmət məqsədinə xidmət edir. Şəhər nəqliyyatının üzləşdiyi ən çətin problemlər arasında aşağıdakılar var:

Mərkəzdən kənarlaşdırma: İctimai nəqliyyat sistemləri şəhər mənzərəsinə hakim olan aşağı sıxlıqlı və dağınıq şəhər ərazilərinə xidmət göstərmək üçün nəzərdə tutulmayıb. Şəhər fəaliyyətlərinin mərkəzdən kənarlaşdırılması nə qədər böyükdürsə, şəhər ərazilərinə ictimai nəqliyyatla xidmət göstərmək bir o qədər çətin və baha olur.

Sabitlik: Bir neçə ictimai nəqliyyat sisteminin, xüsusən də dəmir yolu və metro sistemlərinin infrastrukturunu sabitdir, şəhərlər isə dəyişiklik tempi onilliklər çəkə bilsə belə, dinamik varlıqlardır.

Bağlantı: İctimai nəqliyyat sistemləri çox vaxt digər nəqliyyat növlərindən və terminallardan asılı deyil. Nəticədə, sərnişinləri bir sistemdən digərinə köçürmək çətindir.

Avtomobil rəqabəti: Ucuz və geniş yayılmış yol nəqliyyatı sistemləri nəzərə alınmaqla, ictimai nəqliyyat güclü rəqabətlə üzləşdi və nisbi baxımdan, bəzi hallarda isə mütləq baxımdan sərnişin sayını itirdi.

Tarif strukturları: Tarixən əksər ictimai nəqliyyat sistemləri məsafəyə əsaslanan tarif strukturundan imtina edərək daha sadə sabit tarif sistemi yaratmışdır. Bu, əksər tranzit sistemlərinin uyğun olduğu qısa səfərlərin qarşısını almaq və istifadəçi başına yaratdığı tariflərdən daha baha başa gələn daha uzun səfərləri təşviq etmək kimi gözlənilməz nəticələrə səbəb olmuşdur.

Köhnə xərclər: Əksər ictimai nəqliyyat sistemləri tətillərdən (və ya əmək pozuntuları təhlükəsindən) və onların yaratdığı kəskin pozuntulardan səhiyyə və pensiya müavinətləri də daxil olmaqla əlverişli müqavilələr üzrə danışıqlar aparmaq üçün vasitə kimi istifadə edən

həmkarlar ittifaqı işçi qüvvəsindən istifadə edir. İctimai nəqliyyat subsidiyalaşdırıldığı üçün gediş haqqı sistemləri bu xərcləri yaxşı əks etdirmirdi.

Şəhər nəqliyyatındakı problemlər üçün ümumi həll təklifləri; davamlı nəqliyyat üzrə baş plan hazırlanmalı, velosiped yolları və onlardan istifadə artırılmalı, ictimai nəqliyyatı daha cəlbədiçi etmək üçün siyasətlər hazırlanmalı, bütün avtobuslarda, mikroavtobuslarda, taksilərdə, dəmir yolu sistemlərində və özəl ictimai avtobuslarda vahid bilet sistemi (elektron bilet sistemi) tətbiq edilməli, dayanacaq yerləri artırılmalı, qovşaqlar gücləndirilməli və yollar genişləndirilməlidir.

Nəticə

Bu tədqiqat şəhər logistikasında və şəhər nəqliyyat sistemlərində mövcud olan əsas problemlərin kompleks təhlilinə həsr olunmuşdur. Müasir dövrdə urbanizasiyanın sürətlənməsi, əhalinin sayının artması və iqtisadi fəaliyyətin genişlənməsi şəhərlərdə nəqliyyat və logistika sistemlərinə tələbatın əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Bu, su anbarları, ətraf mühitin çirklənməsi və infrastrukturun yüklənməsi və tikinti proseslərində gecikmələr kimi problemləri daha da ağırlaşdırmışdır.

Nəqliyyat çərçivəsində şəhər logistikası anlayışı, onun əsas komponentləri və şəhər nəqliyyat sisteminin strukturu izah edilir və həm yük, həm də yük daşınmasında rast gəlinən problemlər izah olunur. Çətinliklər həll edilmişdir. Eyni zamanda, problemlərin səbəbləri göstərilir. Şəhər nəqliyyatındakı problemlərin həlli yolları aşağıdakılardır: Yeni investisiyalar əvəzinə mövcud infraqururtdan daha effektiv istifadə; Mövcud şəraitdə qeyri-kafi hesab edilən qovşaq və ya yol, nəqliyyat vasitələrinin sayının azalması səbəbindən nəqliyyat balansını avtomobillərdən ictimai nəqliyyata keçdikdə uzun illər kifayət qədər qala bilər və beləliklə, ictimai resursların daha prioritet layihələrə ayrılmasına imkan verir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. İmanov T.İ.(2005) Logistikaın əsasları. Dərslik. Bakı. "Təhsil" NPM,. 474 səh
2. Ali Efe Çinar, Ayşe Pınar Biter, Mahmut Güney (2020)Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi Ulaştırma Hizmetleri Alani, Kentsel Lojistik 11-12 Ders Materyali
3. Bilici, Z., & Babahanoğlu, V. (2018). Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 9(2), 124-139
4. Kababulut, F.Y. ve Helvacı, C. (2017). Büyük şehirlerde ulaşım sistemleri ve sorunları: İzmir İli özelindeki sorunlara çözüm önerileri. Planlama, 27(3), 215-221.
5. Murat Bay, Fuat Erol (2016). “Lojistik Köylerin Önemi ve İntermodal Taşımacılık Faaliyetleriyle Desteklenmesi: Karaman İlinde Bir Uygulama”, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, s.124-134.
6. Özdemir, T., Turabi, A., Üçer, F. ve Arık, A. (2005). Kentsel Ulaşım Sorunları ve Çözümleri Üzerine Bir Araştırma (Balıkesir Örneği) 6. Ulaştırma Kongresi, 23-25.
7. Pojani, D. ve Stead, D. (2017). The urban transport crisis in emerging economies. This Springer imprint is published by Springer Nature. Switzerland.



Mühəndislik Sahəsində İnnovativ Həllərin Əqli Mülkiyyət Hüququ ilə Qorunması

Nərminə Məhərrəmovə

Hüquq fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

mhrrmzadnrmin@gmail.com

Xülasə

Məqalədə mühəndislik sahəsində yaranan innovativ həllərin hansı əqli mülkiyyət institutları vasitəsilə daha səmərəli qoruna biləcəyi araşdırılır. Təhlil göstərir ki, mühəndislik məhsulu çoxkomponentli hüquqi obyekt olduğundan vahid qorunma mexanizmi kifayət etmir: texniki həllər patent və ya faydalı model, məhsulun estetik-konfigurativ görünüşü sənaye nümunəsi, proqram kodu və texniki çertyojlar müəllif hüququ, istehsal sirri və alqoritmik know-how kommersioniya sirri, bazar identifikatorları isə əmtəə nişanı ilə qorunmalıdır. Araşdırma Azərbaycan hüquqi bazası və WIPO-nun 2025-ci il məlumatları əsasında aparılmışdır. WIPO-ya görə 2024-cü ildə qlobal patent müraciətləri 3.7 milyona, faydalı model müraciətləri 3.3 milyona, sənaye nümunələri 1.6 milyona çatmış, əmtəə nişanı üzrə class count isə 15.2 milyon səviyyəsində qalmışdır. Məqalənin əsas nəticəsi ondan ibarətdir ki, mühəndislik startapı və ya universitet layihəsi üçün ən səmərəli model qatlı IP strategiyasıdır: erkən mərhələdə məxfilik və müəllifliyin sənədləşdirilməsi, kommersioniyalaşma mərhələsində patent və ya sənaye nümunəsi qeydiyyatı, bazara çıxış mərhələsində isə əmtəə nişanı, lisenziyalaşdırma və beynəlxalq qoruma marşrutlarının seçilməsi. Bu yanaşma innovasiyanın bazar dəyərini, investisiya cəlb ediciliyini və texnologiya transferi potensialını artırır.

Açar sözlər: Əqli Mülkiyyət, Patent, Faydalı Model, Sənaye Nümunəsi, Kommersioniya Sirri

Giriş

Bilik və texnologiya iqtisadiyyatında mühəndislik yeniliklərinin dəyəri təkə texniki üstünlüklə deyil, həmin nəticələrin hüquqi mühafizə imkanları ilə də ölçülür. Qlobal tendensiya bunu açıq göstərir: 2024-cü ildə patent müraciətləri 4.9% artaraq 3.7 milyona, faydalı model müraciətləri 3.3 milyona, sənaye nümunələri isə 1.6 milyona çatmışdır; əmtəə nişanı üzrə 15.2 milyon olmuşdur. Bu artım Ümumdünya Əqli Mülkiyyət Təşkilatının (WIPO) innovasiyanın bazarlaşması üçün hüquqi mühafizənin strateji funksiyasını təsdiqləyir (WIPO, 2025a). Mühəndislik sahəsində isə nəticə adətən tək bir obyekt deyil: cihazın texniki quruluşu, məhsulun forması, proqram kodu, texniki çertyoj, istehsal sirri və brend eyni layihədə paralel mövcud ola bilər. Azərbaycan hüquqi sistemində əqli mülkiyyət Konstitusiyasının 30-cu maddəsi, “Patent haqqında” Qanun və “Əmtəə nişanları və coğrafi göstəricilər haqqında” Qanun ilə qorunur; beynəlxalq müstəvidə isə Paris Konvensiyası, Bern Konvensiyası və PCT sistemi mühəndislik innovasiyalarının daha geniş coğrafiyada müdafiəsinə imkan yaradır. Bu baxımdan tədqiqatın məqsədi innovativ mühəndislik həlləri üçün ən uyğun qoruma modelini müəyyənləşdirmək və tətbiq yönümlü hüquqi xəritə təqdim etməkdir.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat normativ-doqmatik, müqayisəli-hüquqi və funksional təhlil metodları əsasında aparılmışdır. Araşdırmada Azərbaycan Respublikasının əqli mülkiyyət sahəsində qüvvədə olan əsas normativ hüquqi aktları, Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzinin rəsmi məlumatları, WIPO-nun patent, sənaye nümunəsi, müəllif hüququ, kommersioniya sirri və PCT

sistemi üzrə materialları, eləcə də təqdim edilmiş arayış sənədləri təhlilə cəlb olunmuşdur. Metodoloji yanaşmanın əsas məqsədi mühəndislik sahəsində yaranan innovativ nəticələrin hüquqi təbiətini müəyyənləşdirmək və onların hansı əqli mülkiyyət institutu vasitəsilə daha effektiv qoruna biləcəyini aşkara çıxarmaq olmuşdur. Bu məqsədlə mühəndislik məhsulunun texniki həlli, vizual görünüşü, proqram təminatı, texniki sənədləri, istehsal sirri və bazar identifikatorları ayrı-ayrı hüquqi obyektlər kimi qiymətləndirilmiş, hər bir komponent üzrə uyğun qoruma forması müəyyən edilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində həm milli hüquqi mexanizmlər, həm də beynəlxalq hüquqi yanaşmalar müqayisəli şəkildə nəzərdən keçirilmiş, nəticədə mühəndislik innovasiyalarının qorunmasında patent, faydalı model, sənaye nümunəsi, müəllif hüququ, kommertiya sirri və əmtəə nişanının qarşılıqlı tamamlayıcı xarakter daşdığı müəyyən edilmişdi.

Təhlil və müzakirə

Azərbaycan hüququnda da ixtira, faydalı model və sənaye nümunəsi “Patent haqqında” Qanunla tənzimlənir; istifadəçi tərəfindən təqdim edilmiş materiallarda göstərilədiyi kimi ixtiralar üçün yenilik, ixtira səviyyəsi və sənaye tətbiqi, faydalı modellər üçün isə daha sadə, əsasən qurğu xarakterli texniki həllərin qorunması nəzərdə tutulur. Bu səbəbdən prototipin texniki yeniliyi yüksəkdirsə patent, artımlı konstruktiv təkmilləşdirmədirsə faydalı model daha uyğun görünür. Mühəndislik məhsulunun xarici görünüşü üzrə hüquqi rejim isə fərqlidir. Sənaye nümunəsi məhsulun texniki funksiyasını deyil, estetik və ornament xarakterli görünüşünü qoruyur; WIPO bunu patentiən əsas fərq kimi vurğulayır və yalnız zahiri əlamətlərin müdafiə olduğunu bildirir (WIPO, 2025c). Buna görə korpus dizaynı, idarəetmə paneli, cihaz interfeysinə vizual həlli və qablaşdırma elementləri üçün sənaye nümunəsi mühüm mexanizmdir. Eyni zamanda proqram kodu, texniki çertyoj və CAD təsvirləri müəllif hüququ ilə avtomatik qorunur, lakin müəllif hüququ ideyanı yox, yalnız onun ifadə formasını müdafiə edir (WIPO, 2025d).

İstehsal alqoritmləri, sınaq parametrləri, kalibrləmə üsulları və kommertiya baxımından həssas know-how isə bir çox hallarda kommertiya sirri kimi qorunmağa daha uyğundur. WIPO-ya görə kommertiya sirri qeydiyyat tələb etmir, müddətsiz qüvvədə qala bilər, lakin bunun üçün informasiyanın gizli saxlanılması və məxfilik üzrə əğlabatan tədbirlərin görülməsi vacibdir; əks halda mühafizə zəifləyir (WIPO, 2025e). Bu, xüsusilə tərsinə mühəndisliklə asanlıqla aşkarlanmayan istehsal prosesləri üçün səmərəlidir. Buna qarşılıq, bazara çıxan və sökülüb analiz oluna bilən texniki həll üçün patent çox vaxt daha güclü seçimdir.

Cədvəl 1. Mühəndislik həlləri üçün optimal hüquqi qorunma xəritəsi.

Mühəndislik nəticəsi	Qoruma forması	Əsas meyar	Üstünlük	Əsas risk
Yeni cihaz və ya üsul	Patent	Yenilik, ixtira səviyyəsi, sənaye tətbiqi	Güclü inhisari hüquq və lisenziyalaşdırma imkanı	Açıqlama məcburidir; ərazi prinsipi
Artımlı konstruktiv təkmilləşdirmə	Faydalı model	Yeni qurğu həlli, praktik tətbiq	Daha çevik və nisbətən sadə qoruma	Qoruma dairəsi və kommertiya çəkisi nisbətən məhdud ola bilər
Məhsulun forma və interfeys görünüşü	Sənaye nümunəsi	Yenilik / orijinallıq	Vizual identiklik və bazar fərqlənməsi	Funksional xüsusiyyətləri qorumur

Kod, çertyoj, CAD və texniki sənəd	Müəllif hüququ	İfadə forması	Avtomatik və sürətli qoruma	İdeyanı və texniki prinsipi qorumur
Know-how, proses parametrləri, alqoritmik sirr	Kommersiya sirri	Gizlilik, iqtisadi dəyər, məxfilik tədbirləri	Qeydiyyatsız və müddətsiz qoruma	Sızma və müstəqil kəşf riski

Cədvəl 1 göstərir ki, mühəndislik innovasiyasının kommersiya dəyəri adətən “qatlı” mühafizə ilə daha yaxşı qorunur. Məsələn, sensorlu cihaz layihəsində texniki modul patent, korpusun görünüşü sənaye nümunəsi, idarəetmə proqramı müəllif hüququ, istehsal parametrləri kommersiya sirri, bazar adı isə əmtəə nişanı ilə qoruna bilər. Bu kombinə edilmiş model investor üçün hüquqi aydınlıq yaradır və texnologiya transferini asanlaşdırır. Bundan əlavə, patent hüququ ərazi xarakterli olduğundan beynəlxalq genişlənmə planlayan mühəndislik subyektləri PCT sistemi vasitəsilə bir beynəlxalq müraciətlə çoxsaylı ölkələrdə qorunma istiqamətini formalaşdırma bilirlər (WIPO, 2025f).

Nəticə

Araşdırma göstərir ki, mühəndislik sahəsində innovativ həllərin effektiv qorunması üçün vahid hüquqi alət kifayət etmir. Texniki həll patent və ya faydalı model, vizual-konfigurativ komponent sənaye nümunəsi, kod və texniki sənədlər müəllif hüququ, gizli istehsal və biznes məlumatları kommersiya sirri, bazar identifikatorları isə əmtəə nişanı ilə tamamlanmalıdır. Belə yanaşma hüquqi riskləri azaldır, investisiya və lisenziyalaşdırma imkanlarını artırır, həm milli, həm də beynəlxalq bazarda texnologiyanın dəyərini möhkəmləndirir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Baran, A., & Zhumabaeva, A. (2018). Intellectual property management in startups - Problematic issues. *Engineering Management in Production and Services*, 10(2), 66–74.
2. Wang, X., Yusof, R. N. R., & Jaharuddin, N. S. (2025). Driving SMEs’ Sustainable Competitive Advantage: The Role of Service Innovation, Intellectual Property Protection, Continuous Innovation Performance, and Open Innovation. *Sustainability (Switzerland)*, 17(9).
3. World Intellectual Property Organization. (2025a). IP facts and figures 2025. <https://www.wipo.int/web-publications/ip-facts-and-figures-2025/en/index.html>
4. World Intellectual Property Organization. (2025b). Frequently asked questions: Patents. https://www.wipo.int/en/web/patents/faq_patents
5. World Intellectual Property Organization. (2025c). Frequently asked questions: Industrial designs. <https://www.wipo.int/en/web/designs/faq-industrial-designs>.



Qarabağ Regionunda Mürəkkəb Dağlıq Relyef Şəraitində Logistik Təminat Sisteminin Təhlili

Şəlalə Cəlilova^{1*}, Orxan Həsəni²

^{1,2}Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan
S337593@karabakh.edu.az

Xülasə

Təqdim olunan məqalədə Azərbaycanın Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonlarında mürəkkəb dağlıq relyef şəraitində həyata keçirilən logistik təminatın xüsusiyyətləri araşdırılır. Tədqiqatda regionun coğrafi çətinlikləri – yüksək dağ keçidləri, kəskin hündürlük fərqləri, dolanbaçlı yol profilləri və sərt iqlim şərtləri – eləcə də bu amillərin təchizat zəncirinin davamlılığına və səmərəliliyinə təsiri geniş şəkildə təhlil olunur. Eyni zamanda dağlıq ərazilərdə daşımaların təşkilində yaranan texniki və əməliyyat problemləri, yanacaq sərfiyyatının artması, nəqliyyat vasitələrinin texniki aşınması və zaman itkisi kimi məsələlər də nəzərdən keçirilir. Xüsusilə “Zəfər Yolu”, Murovdağ tuneli və regionda inşa edilmiş beynəlxalq hava limanları kimi iri infrastruktur layihələrinin logistik səmərəliliyin artırılmasına verdiyi töhfə diqqət mərkəzində saxlanılır. Məqalədə avtomobil, dəmir yolu və hava nəqliyyatı vasitələrinin qarşılıqlı inteqrasiyasına əsaslanan multimodal daşımaların regionun bərpası, iqtisadi inkişafı və təchizat sisteminin dayanıqlığının təmin edilməsində oynadığı rol vurğulanır.

Açar sözlər: Logistik, Qarabağ, Dağlıq Relyef, Təchizat Zənciri, Nəqliyyat İnfrastruktur, Rolling Highway

Giriş

İstənilən regionun uzunmüddətli iqtisadi inkişafı, sosial rifahı və milli təhlükəsizliyi bilavasitə dayanıqlı, çevik və inteqrasiya olunmuş logistik infrastrukturun mövcudluğundan asılıdır. Logistik yalnız yük və sərnişin daşımalarının təşkili ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda istehsal, tikinti, ticarət, humanitar təminat və fəvqəladə hallara operativ reaksiya imkanlarını birləşdirən strateji sistem bir dayaq rolunu oynayır [5]. Lakin mürəkkəb coğrafi relyef – yüksək dağ silsilələri, dərin dərələr, seysmik aktiv zonalar və sərt iqlim şəraiti – ənənəvi nəqliyyat və təchizat marşrutlarının qurulmasını əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşdirir, daşımaların maya dəyərini artırır və vaxt itkilərinə səbəb olur.

Azərbaycanın işğaldan azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzur iqtisadi rayonları məhz bu cür mürəkkəb təbii-coğrafi xüsusiyyətlərə malik ərazilər sırasında yer alır. Uzun illər ərzində infrastrukturun məqsədli şəkildə dağıdılması, yol-nəqliyyat şəbəkələrinin sıradan çıxarılması və yaşayış məntəqələrinin funksionallığını itirməsi bu regionlarda logistik bərpanı daha da mürəkkəbləşdirən amillərdən olmuşdur. Buna baxmayaraq, hazırda həyata keçirilən bərpa və yenidənqurma prosesləri təkcə əvvəlki vəziyyətin bərpasını deyil, daha müasir, davamlı və texnoloji cəhətdən inkişaf etmiş logistik sistemlərin formalaşdırılmasını əsas məqsəd kimi qarşıya qoyur [1].

“Böyük Qayıdış” dövlət proqramının uğurla icrası üçün regionda kompleks logistik yanaşma tətbiq olunur. Bu kontekstdə avtomobil və dəmir yolu xətlərinin yenidən layihələndirilməsi, tunel və körpülərin inşası, alternativ marşrutların yaradılması, eləcə də hava nəqliyyatı imkanlarının genişləndirilməsi prioritet vəzifələr kimi qarşıya qoyulmuşdur. Xüsusilə dağlıq ərazilərdə uzun tunellərin və estakadaların tikintisi, relyefə uyğun ağıllı yol mühəndisliyi həlləri daşımaların fasiləsizliyini və təhlükəsizliyini şərtləndirən əsas amillərdəndir.

Problemin qoyuluşu

Qarabağ regionunun logistik təminatı mürəkkəb dağlıq relyeflə doğrudan əlaqəlidir və bu amil nəqliyyatın planlaşdırılmasında, icrasında və davamlılığında əsas məhdudlaşdırıcı faktor rolunu oynayır. Regionda hündürlük fərqlərinin kəskin olması, yol şəbəkəsinin relyefə uyğun şəkildə dolanbaclı formada inkişaf etməsi və iqlim şərtlərinin dəyişkənliyi logistika xərclərini artırmaqla yanaşı, əməliyyat risklərinin də çoxalmasına gətirib çıxarır.

- **Hündürlük fərqləri və yol profili.** Qarabağın xüsusilə Kəlbəcər və Laçın rayonlarına gedən avtomobil yollarının dəniz səviyyəsindən hündürlüyü bəzi sahələrdə 2500–3000 metrə qədər yüksəlir. Bu cür yüksəkliklərdə atmosfer təzyiqinin azalması mühərriklərin güc itkisinə səbəb olur, ağır tonnajlı nəqliyyat vasitələrinin yüklə hərəkətini çətinləşdirir. Eyni zamanda uzun enişlərdə əyləc sistemlərinə düşən yük artır və təhlükəsizlik riskləri yüksəlir. Bu səbəbdən dağlıq ərazilərdə standart nəqliyyat planlaması kifayət etmir, xüsusi texniki və operativ yanaşmanın tətbiqi zərurətə çevrilir.
- **Mövsümi və iqlim amilləri.** Qış aylarında intensiv qar yağıışı, şaxta və duman dağ yollarında hərəkəti ciddi şəkildə məhdudlaşdırır. “Ömər” aşırımı kimi strateji keçidlərin mütəmadi olaraq qarla örtülməsi avtomobil daşımalarını ya riskli, ya da tamamilə qeyri-mümkün edir. Yaz aylarında isə qarın əriməsi nəticəsində sürüşmələr, sel və torpaq axınları baş verə bilər ki, bu da yol infrastrukturunun müvəqqəti bağlanmasına və alternativ marşrutların istifadəsini şərtləndirir. Belə şəraitdə logistika fasiləsizliyinin təmin edilməsi üçün mövsümə uyğun ehtiyat planların (contingency planning) hazırlanması mütləq xarakter daşıyır.
- **Yanacaq sərfiyyatı və texniki amortizasiya.** Dik yamaclar, kəskin döngələr və tez-tez sürət dəyişmələri ağır yük maşınlarının yanacaq sərfiyyatını hiss olunacaq dərəcədə artırır. Normal magistral yollarla müqayisədə dağlıq marşrutlarda yanacaq xərcləri 20–40% daha yüksək ola bilər. Bundan əlavə, transmissiya, əyləc sistemi və təkərlərin tez aşınması nəqliyyat vasitələrinin istismar müddətini azaldır, texniki xidmət və təmir xərclərini yüksəldir. Bu isə ümumi logistika büdcəsinə əlavə maliyyə yükü yaradır.
- **Zaman itkisi və əməliyyat səmərəliliyi.** Dağ yollarında orta hərəkət sürətinin aşağı olması (təxminən 30–40 km/saat) daşımaların müddətini uzadır və təchizat zəncirində gecikmələrə zəmin yaradır. Xüsusilə tikinti materialları, yanacaq, ərzaq və digər kritik resursların vaxtında çatdırılması bərpa-quruculuq işlərinin tempinə doğrudan təsir göstərir. Gecikmələr həm istehsal proseslərinin dayanmasına, həm də layihə qrafiklərinin pozulmasına gətirib çıxara bilər.
- **Təhlükəsizlik və risklərin idarə edilməsi.** Dağlıq relyefdə baş verən qəzalar, texniki nasazlıqlar və hava şəraiti ilə bağlı gözlənilməz hadisələr logistika əməliyyatlarının risk səviyyəsini artırır. Bu baxımdan dağ regionları üçün xüsusi sürücü hazırlığı, uyğun nəqliyyat parkı, hava proqnozlarına əsaslanan dinamik marşrut planlaşdırılması və real vaxt monitoring sistemləri kritik zərurət hesab olunur.

Dağlıq relyefin yaratdığı logistik çağırışların aradan qaldırılması məqsədilə Azərbaycan dövləti tərəfindən Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionlarında genişmiqyaslı və strateji əhəmiyyətli infrastruktur layihələri həyata keçirilir. Bu layihələrin əsas məqsədi məsafələri qısaltmaq, daşımaların təhlükəsizliyini artırmaq, logistika xərclərini azaltmaq və ən əsası, nəqliyyat sistemini sərt iqlim və mövsümi hava şəraitindən minimum dərəcədə asılı hala gətirməkdən ibarətdir. Yanaşma yalnız yol tikintisi ilə məhdudlaşmır, kompleks və multimodal logistik sistemin formalaşdırılmasını strateji hədəf kimi müəyyən edir.

Problemin həlli

Qarabağın logistik dirçəlişinin simvolu hesab edilən Zəfər Yolu mürəkkəb dağ relyefinə baxmayaraq rekord müddətdə – cəmi bir il ərzində inşa edilmişdir. 101 km uzunluğa malik bu yol Füzuli şəhərini Şuşa ilə birləşdirərək, regionun inzibati, mədəni və iqtisadi mərkəzlərindən biri olan Şuşanın fasiləsiz təchizatında strateji əhəmiyyət daşıyır. Yolun layihələndirilməsində yüksək dağ

yamaqları, sərt döngələr və sürüşmə riski nəzərə alınmış, təhlükəsizlik və davamlılıq əsas prioritet kimi götürülmüşdür.

Dağlıq ərazilərdə logistikanın sürətini və etibarlılığını artırmağın ən effektiv yollarından biri tunel və viaduk infrastrukturunun qurulmasıdır. Tunellər daşımaları qısaldır, yanacaq sərfiyyatını azaldır və qış aylarında qar, çovğun, buzlanma kimi riskləri faktiki olaraq aradan qaldırır. Təxminən 11,6 km uzunluğa malik olan Murovdağ tuneli regionun və ümumilikdə Azərbaycanın ən uzun tunellərindən biri olacaq [9]. Bu mühəndislik qurğusu Kəlbəcər rayonunun ilboyu nəqliyyat əlaqəsini təmin edərək, xüsusilə qış aylarında logistik izolyasiya kimi risklərin minimuma endirilməsinə xidmət edir. Tunelin istismara verilməsi nəticəsində:

- ✓ Daşınma vaxtı əhəmiyyətli dərəcədə azalacaq,
- ✓ Yanacaq və texniki istismar xərcləri aşağı düşəcək,
- ✓ Təchizat zəncirində fasiləsizlik təmin olunacaq.

Aşağıdakı cədvəldə (Cədvəl 1) regionun təchizat zəncirini optimallaşdıran əsas infrastruktur layihələrinin seçilmiş texniki göstəriciləri əks olunmuşdur:

Cədvəl 1. Regionun təchizat zəncirini optimallaşdıran əsas infrastruktur layihələrinin seçilmiş texniki göstəriciləri

İnfrastruktur obyektı	Növü	Uzunluğu / Xüsusiyyəti	Logistik əhəmiyyəti
Zəfər Yolu (Füzuli–Şuşa)	Avtomobil yolu	101 km	Şuşanın fasiləsiz təchizatı, məsafənin qısaldılması
Murovdağ tuneli	Tunel	~11,6 km	İlboyu nəqliyyat, qış risklərinin azaldılması
Füzuli Beynəlxalq Hava Limanı	Hava nəqliyyatı	3000 m U-E zolağı	Ağır yük təyyarələrinin qəbulu, sürətli logistika
Horadiz–Ağbənd dəmir yolu	Dəmir yolu	110,4 km	Kütləvi yüklər, beynəlxalq inteqrasiya

Dağlıq regionlarda logistik səmərəlilik mühəndislik innovasiyaları ilə vəhdət təşkil edir. İsveçrə Alplarında tətbiq olunan və ağır yük maşınlarının dəmir yolu tunelləri vasitəsilə daşınmasını nəzərdə tutan “Rolling Highway” (ROLA) sistemi yanacaq israfını və ekoloji riskləri azaltmaq üçün effektiv modeldir [6]. Qarabağda Horadiz–Ağbənd xətti üzrə analoji inteqrasiyanın qurulması texniki amortizasiya və xərclərin optimallaşdırılması üçün strateji əhəmiyyət kəsb edir.

Norveç təcrübəsində istifadə edilən, asfaltaltı isitmə sistemləri və real vaxt rejimində məlumat ötürən RWIS sensorları sərt iqlim şəraitində buzlanmanın qarşısını almaqla yol təhlükəsizliyinə zəmanət verir [7]. Bu texnologiyaların Murovdağ və Laçın marşrutlarında tətbiqi qış aylarında logistik fasiləsizliyin təminatçısı ola bilər. Yaponiyanın seysmik zonalarda tətbiq etdiyi “torpaq mismarlama” (Soil Nailing) və sensorlu erkən xəbərdarlıq sistemləri isə yamaqların möhkəmləndirilməsi və sürüşmə risklərinə qarşı operativ reaksiya mexanizmi formalaşdırır. Bu cür mühafizə sistemlərinin Zəfər Yolu və digər yeni dağ yollarında qurulması təhlükəsizlik standartlarının maksimuma çatdırılması üçün zəruridir. Qarabağda, xüsusilə Zəfər Yolu və yeni çəkilən dağ yollarında bu tip erkən xəbərdarlıq sistemlərinin qurulması təhlükəsizliyin artırılması baxımından zəruridir.

Çin və İtaliyada dağlıq relyefdə yol tikintisi zamanı gradienti minimuma endirmək üçün yüksək viaduklar və estakadalar inşa olunur [8]. Bu yanaşma yolu relyef üzrə dolandırmaq əvəzinə, dərələr üzərindən keçərək demək olar ki, üfqi səviyyədə saxlamağa imkan verir. Məsələn, Çinin Sıçuan əyalətindəki Duge körpüsü layihəsi belə bir modelin uğurlu nümunəsidir. Qarabağ üçün bu yanaşmanın tətbiqi, xüsusilə Kəlbəcər və Şuşa istiqamətində, ağır tonnajlı maşınların sürətini artırmaq və logistika vaxtını optimallaşdırmaq potensialına malikdir.

Nəticə

Aparılan mühəndis təhlili göstərir ki, Qarabağ və Şərqi Zəngəzur regionlarında mürəkkəb dağlıq relyef, kəskin hündürlük fərqləri və sərt iqlim şəraiti logistika sisteminin səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir. Bu amillər daşınma müddətinin uzanmasına, yanacaq sərfiyyatının artmasına və nəqliyyat vasitələrinin texniki amortizasiyasının sürətlənməsinə səbəb olur. Lakin artıq həyata keçirilmiş infrastruktur layihələri – Zəfər Yolu, Murovdağ tuneli, Horadiz–Ağbənd dəmir yolu xətti və regionda fəaliyyət göstərən beynəlxalq hava limanları – logistik sistemin inkişafı üçün mühüm mühəndis bazası formalaşdırmışdır.

Regionda logistikanın daha səmərəli təşkili üçün beynəlxalq təcrübənin tətbiqi mühüm istiqamət təşkil edəcəkdir. Xüsusilə İsveçrədə tətbiq olunan ROLA (Rolling Highway) sisteminin analoji modelinin Horadiz–Ağbənd dəmir yolu xətti üzərində tətbiqi perspektivli mühəndis-logistika həlli kimi nəzərdən keçiriləcəkdir [6]. Bu sistem ağır yük avtomobillərinin dəmir yolu platformaları vasitəsilə daşınmasını təmin edəcək, nəticədə yanacaq sərfiyyatı azalacaq, yol infrastrukturuna düşən texniki yük minimuma enəcək və dağlıq marşrutlarda logistika təhlükəsizliyi artacaqdır.

Bununla yanaşı, ağıllı yol monitoring sistemləri və yamac möhkəmləndirmə texnologiyalarının tətbiqi logistik marşrutların dayanıqlığını artıracaq və daşımaların fasiləsizliyini təmin edəcəkdir. Beləliklə, mövcud infrastrukturun müasir mühəndis-logistika modelləri ilə inteqrasiyası Qarabağ regionunda dayanıqlı və səmərəli logistik sistemin formalaşmasına xidmət edəcəkdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı. (2022). *"Azərbaycan Respublikasının işğaldan azad edilmiş ərazilərinə Böyük Qayıdışa dair I Dövlət Proqramı"*. Bakı: president.az;
2. Paşayev, N. & Quliyev, E. (2022). *Qarabağ regionunda nəqliyyat-logistika infrastrukturunun bərpası və inkişaf istiqamətləri*. "İpək Yolu" jurnalı, No. 2;
3. İqtisadi İslahatların Təhlili və Kommunikasiya Mərkəzi. (2023). *Qarabağ və Şərqi Zəngəzurun iqtisadi potensialı və investisiya imkanları: Strateji Baxış*. Bakı;
4. Azərbaycan Avtomobil Yolları Dövlət Agentliyi (AAYDA). (2021). *"Zəfər Yolu"nun tikintisi və texniki göstəriciləri haqqında hesabat*. Bakı: aayda.gov.az;
5. Rodrigue, J. P., & Notteboom, T. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). Routledge;
6. Federal Office of Transport (FOT) Switzerland. (2021). *Transalpine Transport Policy and the Rolling Highway (ROLA) concept*. Bern;
7. Norwegian Public Roads Administration. (2019). *Winter Maintenance and Intelligent Transport Systems (ITS) in High Mountain Areas*. Oslo: Statens vegvesen reports;
8. Wang, Y., & Liu, X. (2018). *Engineering Challenges and Solutions for High-Speed Railways and Expressways in Mountainous Areas of China*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 10(5);
9. Həsənov, R. (2023). *"Murovdağ tunelinin strateji və iqtisadi əhəmiyyəti"*. Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Jurnalı, cild 15;



Şərq-Qərb İstiqaməti Üzrə Dəmiryol Nəqliyyatı ilə Daşımalarda Yaranan Problemlərin Təhlili

Leyla Həsəratova^{1*}, Fərid Məmmədov²

Mühəndislik, Bakı Mühəndislik Universiteti, Xırdalan, Azərbaycan

lhesratova@beu.edu.az

Xülasə

Şərq-Qərb dəhlizi Azərbaycan ölkəsindən keçən tranzit axınlarının tənzimlənməsində böyük rol oynayır. Bu gün yük axınlarının həcmnin sürətli artımı mövcud infrastruktur və texnologiyaların modernləşdirilməsini zəruri edir. Bu səbəbdən dəmir yolu ilə yükdaşımanın səmərəliliyinin artırılması üçün kompleks texniki, texnoloji, logistika və təşkilati tədbirlərin işlənməsi tələb olunur. Yəni, Şərq-Qərb nəqliyyat dəhlizi üzrə yük axınlarının sürətli artımı mövcud nəqliyyat infrastrukturunun və logistika texnologiyalarının təkmilləşdirilməsini zəruri etmişdir. Buna görə də, dəmir yolunun öz imkanlarını təhlil etmək üçün onun infrastrukturunda yaranan problemlərin ətraflı araşdırılması da aparılmışdır. Həmçinin multimodal daşımalarda dəmir yolunun fəaliyyəti və başqa nəqliyyat növləri ilə qarşılıqlı əlaqə sisteminə də baxılmışdır. Sərhəd və tranzit problemlərinin araşdırılması iqtisadi cəhətdən lazımlığını ifadə edir, tarif sistemi isə rəqabətlik qabiliyyətini dayanıqlı sistemə çevrilməsinə imkan yaradır. Sonda problemlərin sistemləşdirilməsi onların aradan qaldırma üsullarının seçilməsinə və yerinə yetirilməsinə imkan yaradacaq. Aparılmış statistik və analitik təhlil göstərir ki, dəmir yolu ilə yükdaşımanın inkişafına baxmayaraq, bu sahədə bir sıra sistem xarakterli problemlər mövcuddur. Bu problemlər infrastruktur, texnologiya, logistika, təşkilati-idarəetmə və iqtisadi amillərlə bağlı olmaqla kompleks xarakter daşıyır.

Açar sözlər: Dəmiryol Nəqliyyatı, Transit Axınlar, Logistika, Multimodal Daşımalar, Qatar

Giriş

Şərq-Qərb nəqliyyat dəhlizi Avropa ilə Asiya arasında strateji tranzit marşrutu kimi Azərbaycanın nəqliyyat sistemində mühüm yer tutur. Son illərdə beynəlxalq yük axınlarının artması, geosiyasi dəyişikliklər və alternativ marşrutlara marağın yüksəlməsi bu istiqamətdə dəmir yolu nəqliyyatının rolunu daha da artırmışdır. Lakin artan tranzit həcmi mövcud infrastruktur və texnoloji imkanların məhdudiyyətlərini üzə çıxarmışdır. Məqalədə Şərq-Qərb istiqamətində, xüsusilə Orta Dəhliz çərçivəsində dəmir yolu nəqliyyatında yaranan problemlər sistemli şəkildə təhlil edilmişdir.

Tədqiqat metodu

Qarşıya qoyulmuş məsələni həll etmək üçün əvvəl infrastruktur problemlərinin təhlilindən başlamaq daha məqsədəuyğundur. Azərbaycan dəmir yolu şəbəkəsinin yalnız təxminən 60%-nin elektrikləşdirilməsi və bəzi sahələrdə tək yol sisteminin qalması yük axınlarının sürətli artımı fonunda ciddi məhdudiyyət yaradır (Azərbaycan Dəmir Yolları, 2023). Xüsusilə qeyd olunan istiqamətlərdə yüklənmə səviyyəsi daha yüksəkdir: Bakı – Böyük Kəsik xətti, Bakı – Yalama istiqaməti, Liman – dəmir yolu birləşmələri. Araşdırmalar göstərib ki, tək yol sahələrində bu problem qatarların qarşılıqlı gözləmə vaxtı artır, ötürmə qabiliyyəti azalır, marşrutun etibarlılığı zəifləyir. Bu amillər tranzit daşımaların operativliyinə mənfi təsir göstərir.

Bildiyimiz kimi, dəmiryol şəbəkəsi sabit cərəyandan dəyişə cərəyan sisteminə keçid dövrünü yaşayır. Elektrikləşmənin tam başa çatmaması dizel lokomotivlərindən istifadə, yanacaq xərclərinin artması, ekoloji təsirin yüksəlməsi, qatarların sürətinin azalması problemlərə səbəb olur (World Bank, 2020).

Terminal və stansiya infrastrukturunu təhlil etdikdə görünür ki, bu günədək yük stansiyalarının bir hissəsi köhnəlmiş texnologiyalarla fəaliyyət göstərir. Bu da yükləmə-boşaltma mexanizmlərinin çatışmazlığına, konteyner terminallarının məhdudluğuna, avtomatlaşdırma səviyyəsinin aşağı olmasına gətirib çıxarır. Bu isə vaqon dövriyyəsinin uzanmasına səbəb olur.

Texnoloji problemləri təhlil etdikdə aşkar olunub ki, Orta Dəhliz üzrə Azərbaycan hissəsində qatarların faktiki sürəti potensial göstəricilərdən aşağıdır. Bunun əsas səbəbləri kimi infrastruktur məhdudiyyətlərini, sərhəd keçidlərində gecikmələri, qrafiklərin optimallaşdırılmamasını misal çəkmək olar (Asian Development Bank, 2021). Nəticədə daşınma müddəti artır və marşrutun rəqabət qabiliyyəti azalır.

Vaqon dövriyyəsinin uzun olması terminallarda gecikmələrə, multimodal keçidlərdə vaxt itkisinə, sənədləşmə prosedurlarının uzadılmasına gətirib çıxarır. Bu isə vaqon işçi parkının effektiv istifadəsini azaldır.

Dəmir Yolunda ADY-SMART sistemi istifadə edilsə də, bu daha çox regiondaxili əlaqələrin sabit saxlanmasına yönəlib. Rəqəmsallaşmanın kifayət qədər inkişaf etməməsinə səbəb kimi kağız sənədləşmə üstünlük təşkil etməsini, real vaxt monitorinqin məhdud olmasını, vahid rəqəmsal logistika platforması tam tətbiq olunmamasını göstərmək olar. Bu isə logistika zəncirinin şəffaflığını və operativliyini azaldır (United Nations Conference on Trade and Development, 2022).

Şərq-Qərb dəhlizi multimodal xarakter daşdığı üçün ən ciddi problemlər nəqliyyat növləri arasında əlaqə mərhələsində yaranır. Təhlillər göstərir ki, Xəzər dənizi üzərindən daşımalarda yaranan problemlərə bəre çatışmazlığı, hava şəraitindən asılılıq, liman əməliyyatlarının müddətini qeyd etmək olar. Bu amillər də daşınma vaxtının qeyri-sabitliyinə səbəb olur. Həmçinin liman-dəmir yolu koordinasiyasına baxdıqda, görürük ki, Bakı limanı ilə dəmir yolu arasında yüklərin emal vaxtı, konteynerlərin yenidən yüklənməsi, logistika planlaşdırılması tam optimallaşdırılmayıb.

Transxəzər marşrutu bir neçə ölkəni əhatə edir və bu da əlavə çətinliklər yarada bilər. Misal kimi, gömrük prosedurlarının fərqli olmasını, sənədləşmə standartlarının uyğunsuzluğunu, sərhəd keçid vaxtının uzunluğunu gətirmək olar. Bu faktorlar marşrutun əsas rəqabət üstünlüyü olan sürətə mənfi təsir göstərir.

Orta Dəhliz Şimal dəhlizi (Rusiya), Dəniz marşrutu (Süveyş kanalı) marşrutlarla rəqabət aparır. Buna görə tariflərin optimallaşdırılması məsələlərinə də baxılmalıdır ki, tranzit axınının həcmində minimallaşma olmasın.

Bu gün Orta dəhliz dünya səviyyəsində öz payına düşən yük axınının ötürülməsində tam gücü ilə fəaliyyət göstərir. Onun rəqabətlik səviyyəsini daha dayanıqlı etmək üçün hərtərəfli araşdırıb problemlərin aşkar olunmasına ehtiyac vardır. Yuxarıda qeyd olunan problemlərin sistemləşdirsək, onları 5 əsas qrupa ayırmaq olar (bax: Cədvəl 1)

Cədvəl 1. Şərq-Qərb dəhlizinin Azərbaycan hissəsində olan problemlərin qruplaşdırılması

Problem qrupu	Əsas məzmun
İnfrastruktur	elektrikləşmə, qoşa yollar, terminallar
Texnoloji	sürət, vaqon dövriyyəsi, rəqəmsallaşma
Logistika	multimodal keçidlər, liman əməliyyatları
Təşkilati	sərhəd prosedurları, koordinasiya
İqtisadi	tarif rəqabəti, tranzit asılılığı

Nəticə

Aparılmış sistemli təhlil göstərir ki, Şərq-Qərb dəhlizinin Azərbaycan hissəsində əsas problemlər aşağıdakılardır:

- ötürmə qabiliyyətinin məhdudluğu;
- multimodal logistikanın optimallaşdırılmaması;
- rəqəmsallaşmanın zəif inkişafı;
- sərhəd prosedurlarının uzunluğu;
- tarif rəqabəti.

Bu problemlərin aradan qaldırılması dəmir yolu ilə yükdaşımaların texnologiyasının təkmilləşdirilməsini tələb edir və gələcəkdə bu istiqamətlər üzrə elmi əsaslandırılmış təkliflərin işlənməsini zəruri edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Dəmir Yolları. (2023). İllik hesabat 2022. Bakı.
2. World Bank. (2020). Connecting to compete 2020: Trade logistics in the global economy. World Bank Publications.
3. Asian Development Bank. (2021). Central Asia regional economic cooperation corridor performance measurement and monitoring annual report 2020. ADB.
4. United Nations Conference on Trade and Development. (2022). Review of maritime transport 2022. United Nations Publications.



Pandemiya və Regional Münaqişələrin Beynəlxalq Logistik Axınlara Təsirinin Sistemli Təhlili

Şəhanə Əli^{1*}, Fuad Həsənov²

^{1,2}Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S316602@karabakh.edu.az

Xülasə

Bu tədqiqat işi COVID-19 pandemiyası və müasir regional münaqişələrin beynəlxalq logistik şəbəkələrə təsirini təhlil edir. Araşdırmada qlobal təchizat zəncirlərində yaranmış qırılmaların “vaxtında çatdırılma” (Just-in-Time) modelinin zəif tərəflərini üzə çıxardığı və daha davamlı, ehtiyatyönümlü modellərə keçidi sürətləndirdiyi göstərilir. Nəqliyyat dəhlizlərinin təhlükəsizliyi, alternativ marşrutların iqtisadi səmərəliliyi və tranzit müddətlərindəki dəyişikliklər müqayisəli şəkildə qiymətləndirilir. Regional münaqişələrin yük axınlarının yenidən bölüşdürülməsinə, daşıma xərclərinin artmasına və inflyasiya təzyiqinə təsiri izah olunur. Məqalədə logistik risklər təbiət, geosiyasi, makroiqtisadi, texnoloji və sosial qruplar üzrə təsnif edilir. Qeyri-müəyyənlik şəraitində tədarük müddətindəki dalğalanmaların riyazi qiymətləndirilməsi üçün “Təhlükəsizlik Ehtiyatı” (Safety Stock) modelinin tətbiqi göstərilir və orta gecikmə müddətinin ehtiyat səviyyəsinə təsiri qeyd edilir. Nəticə olaraq, davamlılıq və risklərin idarə olunması müasir logistikanın əsas strateji prioriteti kimi qiymətləndirilir.

Açar sözlər: Pandemiya, Regional Münaqişələr, Beynəlxalq Logistika, Təchizat Zənciri, Logistik Risklər.

Giriş

Müasir dünya iqtisadiyyatı bir-biri ilə güclü əlaqədə olan böyük bir logistik zəncirdən asılı vəziyyətdədir. Lakin 2020-ci ildən başlayan qlobal pandemiya və ondan sonrakı geosiyasi gərginliklər "vaxtında çatdırılma" modelinin nə qədər zəif nöqtələrinin olduğunu üzə çıxardı. Pandemiya dövründə limanların bağlanması, sənədləşmə işlərinin dayanması və karantin məhdudiyətləri ilə başlayan böhran prosesi sonrakı hərbi-siyasi münaqişələrlə güclənmiş və nəticədə dünya iqtisadiyyatını daha qeyri-sabit və riskli bir mərhələyə keçirmişdir. Nəzərə almaq lazımdır ki, beynəlxalq logistikanın əsas məqsədi yalnız xərclərə qənaət etmək deyil, məhsulların düzgün zamanda və düzgün məkana çatdırılmasını təmin etməkdir. Lakin regional münaqişələr və strateji boğazların bağlanması bu prosesi çətinləşdirdi, nəticədə qiymətlərin artmasına və bəzi məhsulların çatışmazlığına səbəb oldu.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqat metodu post-pandemiya dövründə yaranmış yeni geosiyasi şəraitdə nəqliyyat marşrutlarının böhranlara nə dərəcədə davamlı olduğu müqayisəli şəkildə araşdırılıb. Tədqiqat prosesində əsas diqqət ənənəvi və alternativ logistik dəhlizlərin risk səviyyələrinin müqayisəsinə xüsusi diqqət yetirilərək, logistik risklər qruplaşdırılmış və bunun əsasında təchizat zəncirindəki zəif nöqtələr müəyyənləşdirilmişdir. Bu çərçivədə, müqayisəli təhlil vasitəsilə alternativ marşrutların əlavə xərcləri və vaxt dəyişiklikləri rəqəmlər əsasında qiymətləndirilmiş, nəticədə onların iqtisadi səmərəliliyi ilə böhranlara davamlılığı arasındakı əlaqə müəyyən edilmişdir. Tədqiqatda diqqət yetirilən digər vacib məsələ isə riskli dövrlərdə ehtiyatların idarə olunması metodlarının optimallaşdırılması və bu metodların qeyri-müəyyən

şəraitdə qərarvermə prosesinə tətbiqidir. Aparılan müqayisəli təhlillər nəticəsində təchizat zəncirinin fasiləsizliyini təmin edən nəzəri yanaşmalar real nümunələrlə müqayisə edilmişdir. Yekun etibarilə, tətbiq olunan bu yanaşma logistik infrastrukturun dözümlülük hədlərini və iqtisadi risklərin azaldılması yollarını bu məsələləri daha əsaslı şəkildə izah etməyə imkan yaradır.

COVID-19 dövründə əsas çətinlik məhsulların daşınmasından daha çox, sənədləşmə və idarə etmə proseslərin dayanması idi. Sərhədlər bağlanan kimi sənədləşmə (konosament, sertifikatlar və s.) işi demək olar ki, dayandı. Limanlardakı işçi qüvvəsinin karantinə alınması "darboğaz" effektini qaçılmaz etdi. Aparılan araşdırmalara görə, zəncirin bir nöqtəsindəki 2 günlük gecikmə, son istehlakçıya 2 həftəlik xaos kimi qayıtdı[2]. Boş konteynerlərin yanlış limanlarda yığılıb qalması qlobal daşıma qiymətlərini kəskin artmasına səbəb oldu. Beynəlxalq logistik axınların təhlili göstərir ki, post-pandemiya dövründə bərpa olunan tədarük zəncirləri regional münaqişələrin təsiri ilə yenidən parçalanma mərhələsinə daxil olub.

Şimal Dəhlizi üzrə daşımalar Rusiya-Ukrayna müharibəsi başlandıqdan sonra kəskin azalıb. Sanksiyalar və sığorta şirkətlərinin marşrutu yüksək riskli elan etməsi nəticəsində Avropa-Çin dəmiryol tranzitinin 40%-dən çoxu alternativ istiqamətlərə yönəlib. Rusiya-Ukrayna müharibəsi qlobal təchizat zəncirində sadəcə marşrut dəyişikliyi deyil, həm də strateji resursların — taxıl və enerji daşıyıcılarının — əlçatanlığı baxımından ciddi "təhlükəsizlik paradoksu" yaratmışdır. Xüsusilə Qara dəniz akvatoriyasındakı limanların fəaliyyətinin məhdudlaşdırılması qlobal taxıl bazarında təklif şoku yaradaraq, logistik xərclərin ərzaq inflyasiyasına birbaşa təsirini kəskinləşdirmişdir. Ukraynanın dünya taxıl ixracatındakı payının (təxminən 10%) və günəbaxan yağı kimi kritik məhsullardakı dominantlığının blokadaya alınması, xüsusilə Afrika və Yaxın Şərqi "ərzaq təhlükəsizliyi indeksinə" mənfi təsir göstərmişdir. "Qara Dəniz Taxıl Təşəbbüsü" kimi diplomatik-logistik dəhlizlərin qeyri-sabitliyi bazarda kəskin qiymət dəyişkənliyi yaradaraq, gələcək müqavilələrin risk faktörünü artırmışdır.

Enerji logistikası sahəsində isə Avropa İttifaqının Rusiya karbohidrogenlərindən asılılığı azaltmaq strategiyası neft tankerlərinin qlobal hərəkət xəritəsini kökündən dəyişmişdir. Əvvəllər qısa məsafəli boru kəmərləri və ya yaxın limanlar vasitəsilə reallaşan təchizatın uzaq məsafəli dəniz daşımaları ilə əvəzlənməsi, tanker çatışmazlığına və fraxt tariflərinin bəzi marşrutlar üzrə 3-4 dəfə artmasına səbəb olmuşdur.

Cənub Dəhlizi, xüsusilə Qırmızı dəniz hövzəsindəki gərginlik səbəbilə ciddi təsirə məruz qalıb. Süveyş kanalı əvəzinə gəmilərin Ümid burnu marşrutuna yönləndirilməsi qlobal konteyner tutumunun təxminən 20%-nin dövriyyədən çıxmasına və dünya daşıma indekslərinin, o cümlədən Drewry-nin WCI göstəricisinin bəzi xətlər üzrə 150–200% artmasına səbəb olub. Kanal gəlirlərinin 40–50% azalması isə böhranın makroiqtisadi təsirini göstərir.

Bu şəraitdə Azərbaycanın iştirak etdiyi Orta Dəhliz üzrə daşımalar 2022-ci ildən 2.5–3 dəfə artıb. Lakin Xəzər üzərindən multimodal daşımalar zamanı bərdə daşımalarında uyğunsuzluq orta hesabla 4–6 günlük gecikmələr yaradır və "Just-in-Time" modelini çətinləşdirir. Eyni zamanda, International North–South Transport Corridor üzrə hesablamalar tranzit vaxtının ənənəvi marşrutla müqayisədə 45 gündən 25 günə düşə biləcəyini göstərsə də, sanksiyalar və institusional maneələr bu potensialı məhdudlaşdırır. Ümumilikdə, münaqişələr dövründə logistik xərclərin ÜDM-də payı artır və bu, inflyasiyanın güclənməsinə, müəssisələrin isə ehtiyat idarəetmə strategiyalarını yenidən nəzərdən keçirməsinə səbəb olur[5].

Müasir qlobal logistika ekosisteminə alternativ daşıma marşrutlarından istifadə zərurəti sadəcə coğrafi məsafənin uzanması ilə məhdudlaşmır; bu proses həm də zaman intervalının artması, sığorta tariflərinin kəskin artması və əməliyyat xərclərinin artımı ilə müşayiət olunur. Müəssisələr üçün ən böyük iqtisadi itki məhz logistik zəncirdəki qopuqluqlar və gecikmələr səbəbindən reallaşmayan satışlar və itirilmiş gəlirlərdir. Digər tərəfdən, uzun marşrutlar atmosfərə atılan karbon emissiyalarının həcmi əhəmiyyətli dərəcədə artırır ki, bu da beynəlxalq ekoloji tənzimləmələr və "Yaşıl Logistika" standartları çərçivəsində müəssisələr

üçün əlavə maliyyə sanksiyaları və cərimə riskləri deməkdir. Texniki müstəvidə isə infrastruktur uyğunsuzluqları, xüsusilə dəmiryolu relslərinin koleya fərqi sərhəd-keçid məntəqələrində yüklərin bir nəqliyyat vasitəsindən digərinə köçürülməsi zərurətini yaradır ki, bu da multimodal daşımalarda ciddi zaman itkisi və əlavə əmək sərfi ilə nəticələnir[3].

Bu mürəkkəb mühitdə daşıma prosesinə təsir göstərən logistik risklərin sistemli təsnifatı müəssisələrin strateji qərar qəbul etmə mexanizmləri üçün həlledici rol oynayır. Bu riskləri beş fundamental qrup üzrə xarakterizə etmək mümkündür:

Təbiət Riskləri: İqlim dəyişiklikləri və ekoloji böhranlar, məsələn, Panama kanalında müşahidə olunan quraqlıq nəticəsində su səviyyəsinin düşməsi və gəmi keçidlərinin məhdudlaşdırılması;

Geosiyasi Risklər: Regional müharibələr, beynəlxalq sanksiya rejimləri və tranzit dəhlizlərində hökm sürən siyasi qeyri-sabitlik;

Makroiqtisadi Risklər: Valyuta məzənnələrindəki kəskin volatillik, enerji daşıyıcılarının və yanacağın qiymətindəki qeyri-sabitlik;

Texnoloji Risklər: Logistika mərkəzlərinə və liman idarəetmə sistemlərinə qarşı yönəlmiş kibərhücumlar, habelə rəqəmsal infrastrukturun texniki qəzaları;

Sosial Risklər: İşçi tətilləri, əmək bazarındakı disbalans və pandemiya xarakterli genişmiqyaslı inzibati məhdudlaşdırma[4].

Qeyri-müəyyənlik mühitində bu risklərin neytrallaşdırılması üçün tətbiq edilən ən effektiv metodoloji yanaşma "Safety Stock" (1) modelinin elmi əsaslarla tətbiqidir [1]. Pandemiya və müharibə dövründə tədarük zəncirində yaranan gecikmələri kompensasiya etmək üçün təhlükəsizlik ehtiyatının həcmi aşağıdakı riyazi model vasitəsilə optimallaşdırılır:

$$S_c = \sqrt{t \times S_d^2 + d^2 \times S_t^2} \quad (1)$$

Bu formulda əsas diqqət etməli olduğumuz meyar S_c - çatdırılmalarda orta gecikmə müddətidir.

Qlobal pandemiya və regional münaqişələrdən öncəki dövrdə beynəlxalq logistik çatdırılmalarda orta gecikmə müddəti 2–5 gün aralığında dəyişdiyi halda, cari geosiyasi şəraitdə bu göstərici kəskin artaraq 20–40 gün diapazonuna yüksəlmişdir. Tədarük zəncirindəki bu qeyri-müəyyənliyin ehtiyat həcminə təsirini kəmiyyət baxımından qiymətləndirmək üçün standart riyazi model üzərində şərti göstəricilər əsasında müqayisəli təhlil aparılmışdır. Bu çərçivədə, orta tədarük müddəti (t) 10 gün, tələbin standart kənarçıxması (S_d) 5 ədəd, orta günlük tələb (d) 50 ədəd qəbul edilmişdir. Aparılan hesablamalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, zaman kənarçıxmasının (S_t) 5 gün olduğu sabit dövrdə təhlükəsizlik ehtiyatı (S_c) 250 ədəd təşkil etdiyi halda, qeyri-sabit dövrdə bu göstərici 2000 ədədə çatır. Nümunədən aydın şəkildə görüldüyü kimi, postpandemiya və münaqişələr dövründə təhlükəsizlik ehtiyatına olan tələbat 8 dəfə artmışdır ki, bu da müasir dövrdə "Just-in-Time" (JIT) modelinin effektivliyini itirdiyini və strateji "Safety Stock" modelinin daha məqsəduyğun olduğunu sübut edir.

Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, COVID-19 pandemiyası və regional münaqişələr qlobal təchizat zəncirinin strukturunu ciddi şəkildə dəyişmiş, nəqliyyat dəhlizlərinin dayanıqlığını əsas prioritetə çevirmişdir. Şimal və Cənub istiqamətlərində yaranan geosiyasi risklər daşıma xərclərinin artmasına, yük axınlarının yenidən bölüşdürülməsinə və inflyasiya təzyiqinin güclənməsinə səbəb olmuşdur.

Tədqiqat sübut edir ki, yalnız xərclərin minimallaşdırılmasına əsaslanan "Just-in-Time" modeli qeyri-müəyyənlik şəraitində kifayət qədər davamlı deyil. Bu baxımdan, risklərin təsnifatı, alternativ marşrutların qiymətləndirilməsi və təhlükəsizlik ehtiyatının (Safety Stock) elmi əsaslarla hesablanması təchizat zəncirinin fasiləsizliyini təmin etmək üçün vacib mexanizmlərdir.

Nəticə etibarilə, müasir logistika sistemində davamlılıq və risklərin idarə olunması iqtisadi səmərəlilik qədər önəmli strateji amilə çevrilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Chopra, S., & Meindl, P. (2021). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson Education. (Təchizat zəncirində mühəndislik planlaması və Safety Stock düsturunun metodologiyası üçün).
2. Ivanov, D. (2020). "Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis". *International Journal of Production Research*. (Pandemiyanın logistik axınlara təsirinin sistemli analizi).
3. Simchi-Levi, D., & Haren, P. (2022). "Building Resilient Supply Chains in an Uncertain World". *Harvard Business Review*. (Regional münaqişələr və qeyri-müəyyənlik şəraitində sistem dayanıqlığı strategiyaları).
4. World Bank (2023). *The Middle Corridor: Potential and Challenges* (2023). Dünya Bankı . Orta Dəhliz: Potensial və Problemlə
5. Asian Development Bank (2023). *The Middle Corridor: Enhancing Regional Connectivity*. (Regional münaqişələr fonunda "Orta Dəhliz" və alternativ marşrutların iqtisadi təhlili üzrə hesabat).



Azərbaycanın Nəqliyyat-Logistika Sektorunda Təhsil və İstehsalat İnteqrasiyasının Strateji Perspektivləri

Kənan Nəcəfli^{1*}, Orxan Həsənlı²

^{1,2}Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S337747@karabakh.edu.az

Xülasə

Məqalədə Azərbaycanın beynəlxalq nəqliyyat qovşağına çevrilməsi prosesində logistika sektorunun kadr təminatı və təhsil-istehsalat inteqrasiyasının strateji əhəmiyyəti araşdırılır. Tədqiqat çərçivəsində yerli ali təhsil kurikulumları ilə sənaye operatorlarının gözləntiləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş, nəzəri biliklərlə praktiki bacarıqlar arasındakı fərqlər müəyyən edilmişdir. Araşdırma nəticəsində mühəndislik təhsilində nəzəriyyənin üstünlük təşkil etdiyi aşkar olunmuş və bu balansın "Dual study" modeli vasitəsilə beynəlxalq standartlara uyğunlaşdırılması zərurəti əsaslandırılmışdır. Məqalədə rəqəmsal kompetensiyaların tədrisə inteqrasiyası və Qarabağ Universiteti kimi yeni platformaların sənaye ekosistemləri ilə birgə fəaliyyət imkanları, təhsil müəssisələri ilə sənaye müəssisələri arasında strateji əməkdaşlıq mərkəzlərinin qurulmasının ölkənin logistik rəqabət gücünü intellektual kapitalla möhkəmləndirəcəyi vurğulanmışdır.

Açar sözlər: Logistika, Təhsil-İstehsalat İnteqrasiya, Dual Study, Kadr Hazırlığı, Təhsildə Rəqəmsallaşma, Strateji Tərəfdaşlıq.

Giriş

Azərbaycanın əlverişli geosiyasi mövqeyi və beynəlxalq nəqliyyat dəhlizlərinin kəşifində yerləşməsi, ölkənin logistik potensialının reallaşmasını milli iqtisadiyyatın əsas hədəf istiqamətlərindən birinə çevirmişdir[1]. Lakin bu sektorun qlobal rəqabətə davamlılığının təmin edilməsi, təkcə infrastruktur layihələri ilə deyil, həm də müasir çağırışlara cavab verən ixtisaslı kadr potensialı ilə birbaşa bağlıdır[10]. Bu kontekstdə, təhsil və istehsalat sahələrinin inteqrasiyası, nəzəri biliklərin praktiki vərdislərlə uyğunlaşması baxımından mühüm strateji əhəmiyyət kəsb edir. Hazırda logistika sahəsində kadr hazırlığı yalnız akademik proqramlarla məhdudlaşmamalı, real bazarın dinamik tələblərinə əsaslandırılmalıdır.

Problemin qoyuluşu

Tədqiqatın metodoloji əsasını Azərbaycan Respublikasının nəqliyyat-logistika sektorunda kadr hazırlığı ilə istehsalat tələbləri arasındakı uyğunluğun müqayisəli analitik təhlili təşkil edir. Bu çərçivədə, ölkədə fəaliyyət göstərən ali və orta ixtisas təhsili müəssisələrinin mövcud tədris metodları ilə liman və terminal operatorları və ekspeditor şirkətlərinin kadr gözləntiləri qarşılaşdırılmışdır[7]. Aparılan təhlillər akademik nəzəriyyə ilə real sənaye təcrübəsi arasındakı fərqləri aşkar etməyə imkan verir. Müasir logistika təhsili artıq yalnız fiziki yükdaşıma prosedurları ilə məhdudlaşmamalı, mütləq şəkildə anbar idarəetmə sistemləri, müəssisə resurslarının planlaşdırılması, proqram və süni intellekt əsaslı data analitikası kimi texniki kompetensiyaları özündə birləşdirməlidir[9].

İnteqrasiya prosesinin normativ-hüquqi tərəfi Azərbaycan Respublikası Prezidentinin müvafiq fərmanları və "Logistika və ticarətin inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi" ilə tənzimlənir[1,2]. Bu sənədlər sektorun rəqəmsallaşması və müasir idarəetmə mexanizmlərinin

qurulmasını əsas hədəf kimi müəyyən etmişdir. Hazırda bu istiqamətdə Milli Aviasiya Akademiyası, Azərbaycan Texniki Universiteti və Bakı Mühəndislik Universiteti ilə yanaşı, yeni yaradılmış Qarabağ Universitetinin rolu strateji əhəmiyyət kəsb edir. Qarabağ Universitetində tədris olunan "Logistika və nəqliyyat texnologiyaları mühəndisliyi" ixtisası, işğaldan azad edilmiş ərazilərdə qurulan yeni nəqliyyat-logistika infrastrukturunun birbaşa daxilində kadr yetişdirilməsi modelinə əsaslanır[3].

Beynəlxalq təcrübə, xüsusilə Almaniyanın BVL və Hollandiyanın TKI Dialog modelləri göstərir ki, təhsilin effektivliyi təcrübə və nəzəriyyənin 70/30 nisbətində qurulmasından asılıdır[4,5]. Lakin Azərbaycanda yerli tədris metodları hələ də nəzəriyyə yönümlüdür (Cədvəl 1). Təchizat zəncirinin rəqəmsallaşması şəraitində məzunların FIATA və ya ELA kimi beynəlxalq sertifikatlaşdırma proqramlarına cəlb olunması, onların qlobal əmək bazarında rəqabət qabiliyyətliliyini təmin edən fundamental amildir. Bu nöqtədə sənaye-təhsil əməkdaşlığı çərçivəsində qurulacaq ekosistemlər tələbələrin real vaxt rejimində terminal və limanlarda, logistika mərkəzlərindəki texnoloji proseslərdə iştirakına zəmin yaradır[8,9].

Cədvəl 1: Azərbaycanda müxtəlif sahələr üzrə təcrübə və nəzəriyyə nisbəti

Sahələr	Faiz nisbəti (Təcrübə/Nəzəriyyə)
Mühəndislik	30/70
Tibb	50/50
Turizm	40/60
İncəsənət	80/20
Humanitar	20/80
Hüquq	10/90

"Dual study" modelinin Azərbaycanın nəqliyyat-logistika sektorunda uğurlu tətbiqi üçün ilk növbədə təhsil müəssisələri ilə sənaye müəssisələri arasında hüquqi və texniki xarakterli yeni tərəfdaşlıq formatı qurulmalıdır. Mövcud vəziyyətdə tələbələrin müəssisələrə qısa müddətli "istehsalat təcrübəsi" adı altında göndərilməsi formatı özünü doğrultmur, çünki bu prosesdə sənayenin təhsil proqramına müdaxilə imkanı məhduddur. Almaniya təcrübəsində olduğu kimi, logistika tələbəsi vaxtının ən azı 50-60%-ni birbaşa iş mühitində — limanlarda, gömrük terminallarında və ya paylama mərkəzlərində keçirməlidir. Bu modelin Azərbaycanda tətbiqi üçün təklif olunan mexanizm aşağıdakı komponentləri əhatə edir:

- Birinci mərhələdə, "İntegrasiya olunmuş təhsil metodu" modeli tətbiq edilməlidir. Burada işəgötürənlər (məsələn, Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanı, ADY Konteyner və s.) universitetin tədris planının formalaşmasında birbaşa iştirak edir. Tələbə həftənin üç gününü müəssisədə real tapşırıqlar icra etməklə (məsələn, WMS sistemində yükün qəbulu, multimodal marşrutun planlaşdırılması), iki gününü isə universitetdə nəzəri bilikləri mənimsəməklə keçirir.
- İkinci mühüm addım, "Mentorluq və Korporativ Tələməçi" institutunun yaradılmasıdır. Müəssisə daxilində təcrübəli mütəxəssislər təhsil proqramına uyğun olaraq tələbələrə rəhbərlik edir və onların praktiki fəaliyyətini qiymətləndirir. Bu qiymətləndirmə tələbənin semestr balının əhəmiyyətli hissəsini təşkil etməlidir.
- Üçüncü istiqamət isə stimullaşdırıcı vergi və maliyyə güzəştləridir. "Dual study" proqramına qoşulan özəl logistika şirkətləri üçün dövlət tərəfindən müəyyən güzəştlərin tətbiqi sənayenin kadr hazırlığına marağını artırma bilər. Xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə, Qarabağ Universitetinin bazasında qurulacaq logistik klasterlərdə tələbələrin həm işləyib, həm də oxumasını təmin edən bu model, regionun iqtisadi canlanmasına sürətli təsir göstərəcəkdir. Belə bir yanaşma məzunun iş tapmaq ehtimalını 100%-ə qədər çatdırır, müəssisə isə kadr axtarışına və onun adaptasiyasına çəkilən artıq xərclərdən azad olur. Bu modelin tətbiqi logistika sektorunda fərqlərin aradan

qaldırmaqla yanaşı, Azərbaycanın beynəlxalq tranzit potensialının idarəedilməsini tamamilə yerli və yüksək ixtisaslı kadrların ixtiyarına verəcəkdir.

Nəticə

Tədqiqat nəticəsində aydın olur ki, Azərbaycanda logistika təhsili hələ də 70% nəzəriyyəyə əsaslanır, halbuki Almaniya və Hollandiya kimi lider ölkələrdə bu balans 70% təcrübə lehəndir[4]. Bizdəki bu "nəzəriyyə yükü" məzunların iş mühitinə adaptasiyasını çətinləşdirən əsas maneədir. Dünyadakı "Dual study" modelini və rəqəmsal idarəetmə sistemlərini yerli sistemə tətbiq etməklə logistika sahəsində sıçrayışlı inkişafa nail ola bilərik[5]. Qarabağ Universiteti kimi ali təhsil müəssisələrinin istehsalat sahələri ilə birgə idarəetmə sistemini qurmaq, ölkəmizin beynəlxalq nəqliyyat layihələrindəki gücünü ixtisaslı kadr potensialı ilə təmin etmək üçün ən əlverişli yoldur. Bu bölgənin işğaldan azad edilməsi və yenidən qurulması, orada köhnə və dəyişməsi çətin olan qaydalardan kənar, daha müasir və çevik iş modellərinin tətbiqinə geniş imkanlar açır. Digər bölgələrdən fərqli olaraq, Qarabağda nəqliyyat və logistika quruluşunun ən son texnologiyalarla sıfırdan yaradılması, təhsilin birbaşa bu iş mühiti daxilində öyrədilməsinə şərait yaradır. Bu üstünlük Qarabağ Universitetini təkə bir təhsil ocağı deyil, həm də logistika sahəsindəki dünya təcrübələrinin sınaqdan keçirildiyi və sürətlə həyata keçirildiyi strateji bir nümunə mərkəzinə çevirir[2].

Ədəbiyyat siyahısı

1. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Fərmanı. "Milli iqtisadiyyat və iqtisadiyyatın əsas sektorları üzrə strateji yol xəritələrinin təsdiq edilməsi haqqında" (Logistika və ticarətin inkişafına dair Strateji Yol Xəritəsi), Bakı, 6 dekabr 2016-cı il.
2. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin Sərəncamı. "Azərbaycan Respublikasının 2022–2026-cı illərdə sosial-iqtisadi inkişaf Strategiyası"nın təsdiq edilməsi haqqında, Bakı, 22 iyul 2022-ci il.
3. Azərbaycan Respublikasının Təhsil haqqında Qanunu. Bakı şəhəri, 2009 (əlavə və dəyişikliklərlə).
4. BVL (Bundesvereinigung Logistik). "Dual Education Systems in Germany: Theory and Practice Integration", Berlin, 2023.
5. TKI Dinalog (Dutch Institute for Advanced Logistics). "Innovation in Logistics Education: The Triple Helix Model", Breda, Netherlands, 2022.
6. Qasımov, A. S. *Nəqliyyat logistikasının əsasları*, Ali məktəblər üçün dərslik, Bakı: "Nurlan" nəşriyyatı, 2021.
7. Məmmədov, E. N. "Azərbaycanda logistika sektorunda kadr hazırlığı və bazar tələbləri", *İqtisadiyyat və Elmi İnnovasiyalar Jurnalı*, No. 2, 2024.
8. FIATA (International Federation of Freight Forwarders Associations). "Minimum Standards for the FIATA Diploma in International Freight Forwarding", Geneva, 2023.
9. European Logistics Association (ELA). "European Logistics Training Board: Standards of Competence", Brussels, 2024.
10. World Bank Group. "Connecting to Compete: Trade Logistics in the Global Economy", Logistics Performance Index Reports, 2023.



Yol Hərəkəti və Nəqliyyat Təhlükəsizliyi üzrə Qanunvericilik

Elvin Həsənov^{1*}, Elvin Allahverdizadə², Murad Gülməmmədov³, Günel Soltanova⁴

¹²³⁴Mühəndislik, Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan

elvingsnov@gmail.com

Xülasə

Yol hərəkəti və nəqliyyat təhlükəsizliyi üzrə qanunvericiliyin öyrənilməsinin məqsədi mövcud normativ bazanı araşdırmaq, tətbiq mexanizmlərini təhlil etmək və onların hadisələrin azaldılmasına təsirini qiymətləndirməkdir. Azərbaycan Respublikasında qəbul olunmuş qanunlar və qaydalar beynəlxalq standartlarla müqayisəli şəkildə öyrənilir. Standartlar yalnız qaydaların müəyyənləşdirilməsi deyil, həm də yol istifadəçilərinin davranışının formalaşdırılması, nəqliyyat vasitələrinin texniki təhlükəsizliyi, infrastrukturun beynəlxalq tələblərə uyğun qurulması və təhlükəsizlik mədəniyyətinin gücləndirilməsinə xidmət edir. Beynəlxalq konvensiyalar və milli normativ aktlar vahid təhlükəsizlik yanaşmasının formalaşmasına şərait yaradır. Hadisələrin obyektiv araşdırılmasında avtomobil-texniki, yol şəraiti, trasologiya və məhkəmə-tibbi ekspertizalar mühüm rol oynayır. Mövzunun aktuallığı nəqliyyat vasitələrinin artması, elektron idarəetmə sistemlərinin genişlənməsi və infrastrukturun yenilənməsi ilə bağlı metodologiyanın daim təkmilləşdirilməsini tələb etməsidir.

Açar sözlər: Yol Hərəkəti, Nəqliyyat, Təhlükəsizlik, Qanunvericilik, Aktlar

Giriş

Yol-nəqliyyat hadisələri (YNH) yalnız insan tələfatı ilə deyil, həm də iqtisadi itkilərlə nəticələndiyindən beynəlxalq təşkilatlar təhlükəsizliyin artırılması üçün vahid hüquqi çərçivə formalaşdırmışdır. Bu çərçivənin əsasını BMT-nin, Avropa İttifaqının, Dünya Səhiyyə Təşkilatının və digər beynəlxalq institutların qəbul etdiyi yol hərəkəti və nəqliyyat təhlükəsizliyinə dair konvensiyalar, direktivlər və tövsiyələr təşkil edir. Dünya Səhiyyə Təşkilatının məlumatına əsasən, hər il dünyada təxminən 1.2 milyon insan yol-nəqliyyat hadisələrinin qurbanı olur və 50 milyondan çox insan müxtəlif dərəcəli xəsarətlər alır. Bu rəqəmlər dövlətlərin yol hərəkəti siyasətini və qanunvericiliyini davamlı şəkildə təkmilləşdirməsini zəruri edir [1].

Tədqiqat metodu

Azərbaycan qanunvericiliyində yol nəqliyyat hadisələrinin tənzimlənməsi qaydalarına uyğun Azərbaycan Respublikasında YNH-lərin hüquqi qiymətləndirilməsi bir neçə normativ aktın qarşılıqlı tətbiqinə əsaslanır. Əsas baza “Yol hərəkəti haqqında” Qanun, “Yol hərəkəti qaydaları”, Cinayət Məcəlləsi və İnzibati Xətalar Məcəlləsidir. Bu sənədlər yol hərəkəti iştirakçılarının hüquq və vəzifələrini, yol hərəkəti qaydalarının pozulmasına görə məsuliyyət mexanizmlərini və YNH-lərin hüquqi qiymətləndirilməsinin əsas prinsiplərini tənzimləyir [2].

Cinayət-hüquqi tənzimləmə qaydalarına uyğun Cinayət Məcəlləsinin 263-cü maddəsi yol hərəkəti və nəqliyyat vasitələrinin istismarı qaydalarının pozulması nəticəsində ağır nəticələr baş verdikdə tətbiq olunur. Sürücünün sərxoş vəziyyətdə olması, yüksək sürət, yol nişanlarının tələblərinin pozulması kimi hallar cəzanın ağırlaşdırıcı elementləri sayıla bilər. Yüngül

xəsarətlər, yol nişanlarının pozulması və maddi zərərin vurulması halları isə adətən İnzibati Xətalər Məcəlləsi ilə tənzimlənir [3].

Ekspertiza mexanizminə də nəzər yetirək. YNH-lərin araşdırılmasında əsas rol məhkəmə-texniki ekspertizalara məxsusdur. Avtotexniki, trasoloji, tibbi, psixofizioloji və digər ekspertiza növləri hadisənin mexanizmini, toqquşma bucağını, sürət parametrini, nəqliyyat vasitəsinin texniki vəziyyətini və zərər çəkmə səbəblərini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Ekspertizaların DİN-in Ekspertiza Mərkəzi, məhkəmə ekspertizası idarələri və müstəqil ekspert strukturları tərəfindən aparılması mümkündür. Hadisə yerinin dəqiq sənədləşdirilməsi — ölçülər, izlər, foto-video materiallar — ekspert rəyinin keyfiyyətini birbaşa müəyyən edir.

Yol hərəkəti və nəqliyyat təhlükəsizliyi üzrə beynəlxalq qanunvericilik aktlara nəzər salaq.

Əvvəlcə BMT-nin qəbul etdiyi əsas konvensiyalarını qeyd edək:

Əsas sənədlərə 1968-ci il - “Yol Hərəkəti Haqqında” Vyana Konvensiyası; 1968-ci il - “Yol Nişanları və Siqnailləri Haqqında” Konvensiyası və 1958 və 1998-ci il Sazişləri daxildir. Bu sənədlər qlobal səviyyədə harmonizasiya və nəqliyyat axınlarının təhlükəsiz idarə olunması üçün əsas hüquqi bazarolunu oynayır [4].

Avropa İttifaqı qanunvericiliyi və direktivləri də qeyd edək:

Aİ nəqliyyat təhlükəsizliyi sahəsində daha detallı texniki və təşkilati tələblər müəyyən edir. Bunlardan ən önəmlilərini araşdırıb qeyd edək:

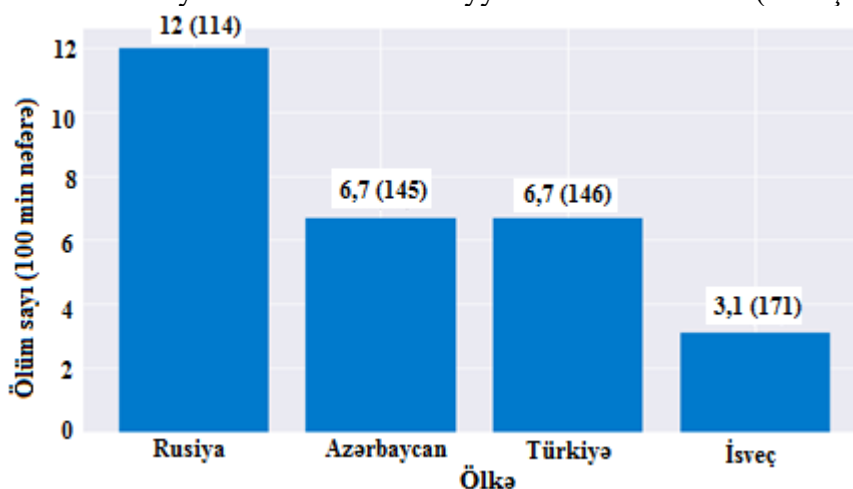
- Directive 2008/96/EC – yol infrastrukturunun təhlükəsizliyinin idarə edilməsi, auditlər, təsir qiymətləndirilməsi və təhlükə xəritələrinin hazırlanmasını tənzimləyir.
- General Safety Regulation (GSR) 2019/2144 – avtomobillərdə aktiv və passiv təhlükəsizlik sistemlərinin məcburi tətbiqi (AEB, LDW, ISA və s.).

Dünya Səhiyyə Təşkilatının (WHO) tətbiq etdiyi qlobal təşəbbüslərə nəzər yetirdikdə WHO tərəfindən irəli sürülmüş “Yol Təhlükəsizliyi üzrə Qlobal Fəaliyyət Planı 2021–2030” ölüm göstəricilərini 50% azaltmağı hədəfləyir. Burada təhlükəsiz sistem yanaşması, sürət nəzarəti, risk qrupları və infrastruktur təhlükəsizliyi prioritet kimi göstərilir [5].

Araşdırmada Azərbaycan, İsveç, Rusiya və Yaponiya yol təhlükəsizliyi səviyyəsi müqayisəli-analitik metod ilə təhlil olunmuşdur. Məlumatlar WHO, ETSC, OECD/ITF və ölkələrin rəsmi nəqliyyat qurumlarının hesabatlarından götürülmüşdür [6].

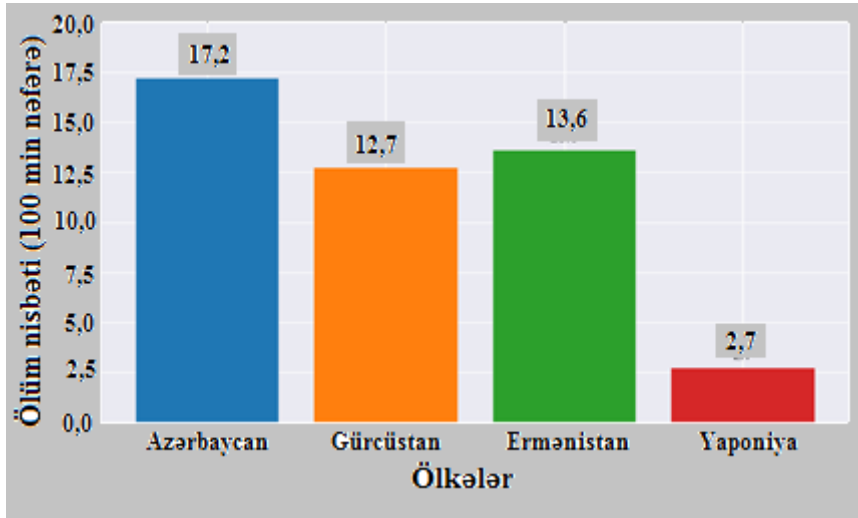
Qiymətləndirmə əsas indikatorlar üzrə aparılıb: yol ölüm göstəricisi (önlər / 1 milyon əhali); ağır xəsarətli qəzaların payı [7]; yol infrastrukturunu və nişanların standartlara uyğunluğu; qanunvericilik və nəzarət sistemi; sürücü davranışı və yol mədəniyyəti [8]; yol təhlükəsizliyi strategiyaları (məsələn, Vision Zero).

Nəticə olaraq, bu ölkələrin yüksək təhlükəsizlik səviyyəsi infrastrukturun keyfiyyəti, sət qanunlar, güclü nəzarət və yüksək sürücü mədəniyyəti ilə əsaslandırılıb (bax: Şəkil 1).



Şəkil 1. 2019-cu il üzrə Yol hərəkəti ölüm göstəriciləri

Yol-nəqliyyat hadisələri nəticəsində ölüm səviyyəsi (WHO məlumatına əsasən, 2021) Dünya Səhiyyə Təşkilatının (WHO) 2021-ci il məlumatlarına görə, Azərbaycan, Gürcüstan, Ermənistan və Yaponiya üzrə yol-nəqliyyat hadisələrində ölüm nisbəti (hər 100 000 nəfərə) belədir (bax: Şəkil 2) [2][9]:



Şəkil 2. 2021-ci ildə Yol-nəqliyyat hadisələrində ölüm nisbəti (hər 100 min nəfərə)

Nəticə

Tədqiqat göstərir ki, beynəlxalq təcrübənin öyrənilməsi və adaptasiyası Azərbaycanda yol təhlükəsizliyinin artırılmasına, qəzaların qarşısının alınmasına və bütün yol iştirakçılarının qorunmasına mühüm töhfə verir. Bu, uzunmüddətli və davamlı strategiyanın formalaşması üçün əsasdır. Yol-nəqliyyat hadisələrinin hüquqi tənzimlənməsi və ekspertizası kompleks yanaşma tələb edir; beynəlxalq təcrübə isə texnologiya əsaslı ekspertiza, standartlaşdırılmış protokollar, rəqəmsallaşdırma və preventiv siyasətin effektivliyini sübut edir. Türkiyə, Gürcüstan və Almaniya nümunələri modernləşmə istiqamətində faydalı ola bilər. UNECE, Aİ və WHO sənədləri vahid standartların formalaşmasına şərait yaradır, yol təhlükəsizliyi auditləri və risk dəyərləndirmə metodologiyaları isə müasir infrastrukturda qəza risklərini minimuma endirməyə imkan verir [10].

Ədəbiyyat siyahısı

1. World Health Organization. (2019). Global Status Report on Road Safety.
2. Azərbaycan Respublikası. (1998). Yol hərəkəti haqqında Qanun.
3. Azərbaycan Respublikası. (2015). İnzibati Xətalər Məcəlləsi.
4. United Nations. (1968). Vienna Convention on Road Traffic.
5. European Commission. (2021). EU road safety policy framework 2021–2030. Brussels.
6. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). Road safety annual report. Paris: OECD Publishing.
7. “Analysis of Road Traffic Accidents in Dense Cities: Geotech Transport and ArcGIS.” (2024). Transportation Engineering, 16, 100256.
8. Mehtiyev, S. (2021). Potential health impact of transport traffic restriction in the center of Baku, the capital of Azerbaijan. Eurasian Journal of Clinical Sciences, 2(3). ejcs.org
9. Dövlət Statistika Komitəsi-<https://www.stat.gov.az/>
10. Ikromov, A. G., Makhmudov, G. N., Abruyev, S., & Khushvaktov, S. (2023). Cooperation of the state road safety service with the sectoral services of internal affairs bodies in road safety activities. Global Scientific Review, 19, 25–31.



AETR Sazişinə Əsasən Sürücülərin İş və İstirahət Rejiminin Təhlükəsizliyə Təsiri

Fərrux Mustafayev

Mühəndislik fakültəsi, Bakı Mühəndislik Universiteti, Bakı, Azərbaycan

fmustafayev1@std.beu.edu.az

Xülasə

Məqalədə AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişinə uyğun olaraq sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsiri təhlil olunur. Qeyd olunur ki, sürmə müddətinin məhdudlaşdırılması və müntəzəm fasilələrin verilməsi sürücülərdə yorğunluğu azaldır, diqqət və reaksiya qabiliyyətini artırır. Bu işə yol-nəqliyyat hadisələrinin azalmasına və daşımaların daha təhlükəsiz həyata keçirilməsinə səbəb olur. Nəticədə, AETR qaydalarına riayət olunması həm sürücülərin sağlamlığını qoruyur, həm də beynəlxalq avtomobil daşımalarının ümumi təhlükəsizlik səviyyəsini yüksəldir.

Açar sözlər: AETR Sazişi, Sürücülərin İş və İstirahət Rejimi, Yol Hərəkəti Təhlükəsizliyi, Sürücü Yorğunluğu, Rəqəmsal Taxoqraf Sistemləri, Risklərin İdarə Olunması

Giriş

Beynəlxalq avtomobil daşımalarının sürətlə inkişaf etdiyi müasir dövrdə yol hərəkəti təhlükəsizliyinin təmin olunması prioritet məsələlərdən biri kimi çıxış edir. Bu kontekstdə sürücülərin iş və istirahət rejiminin düzgün tənzimlənməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Çünki uzunmüddətli və fasiləsiz sürmə prosesi sürücülərdə yorğunluq, diqqət dağınıqlığı və reaksiya qabiliyyətinin zəifləməsi ilə nəticələnərək yol-nəqliyyat hadisələrinin başvermə ehtimalını artırır [2,7,8].

Beynəlxalq səviyyədə bu risklərin qarşısını almaq məqsədilə AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişi qəbul edilmişdir [1]. Sözügedən saziş sürücülərin gündəlik və həftəlik iş vaxtını, istirahət müddətlərini və fasilə qaydalarını müəyyən etməklə nəqliyyat sektorunda təhlükəsizlik standartlarının formalaşdırılmasına xidmət edir [1,3].

Bu məqalənin məqsədi AETR sazişi çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini elmi-praktik baxımdan təhlil etmək, eyni zamanda bu qaydaların tətbiqinin nəqliyyat prosesində yaratdığı müsbət nəticələri araşdırmaqdır.

Ədəbiyyat icmal

Mövzu ilə bağlı elmi ədəbiyyat beynəlxalq avtomobil daşımalarında sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini geniş şəkildə araşdırır. UNECE [1] tərəfindən qəbul edilən AETR sazişi bu sahədə əsas normativ baza kimi çıxış edir və sürücülərin iş vaxtı, fasilələr və istirahət müddətlərini tənzimləyir [1].

International Road Transport Union (IRU) [2] və digər beynəlxalq təşkilatların hesabatlarında göstərilir ki, iş və istirahət rejiminə riayət olunması sürücü yorğunluğunu azaldır və yol-nəqliyyat hadisələrinin sayını minimuma endirir [2]. Eyni zamanda, Avropa Komissiyasının 561/2006 sayılı rəqlamenti bu sahədə hüquqi çərçivəni gücləndirir və AETR qaydaları ilə uyğunlaşdırılmış normalar müəyyən edir [3].

World Health Organization (WHO) [4] tərəfindən aparılan tədqiqatlarda vurğulanır ki, sürücü yorğunluğu yol qəzalarının əsas səbəblərindən biridir və bu faktorun azaldılması ölüm və yaralanma hallarını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [4].

McKinnon, Button və Rodrigue kimi müəlliflərin tədqiqatlarında nəqliyyat sistemlərinin iqtisadi və logistika aspektləri araşdırılır və göstərilir ki, sürücü iş rejiminin optimallaşdırılması həm təhlükəsizliyi, həm də iqtisadi səmərəliliyi artırır [5,6,7].

European Transport Safety Council (ETSC) [8] və International Transport Forum (ITF) [8] hesabatlarında isə yorğunluğun idarə olunması və taxoqraf kimi nəzarət sistemlərinin tətbiqi yol təhlükəsizliyinin artırılmasında effektiv vasitə kimi qiymətləndirilir [8].

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatda istifadə olunan metodoloji yanaşma akademik xarakter daşıyır və keyfiyyət (qualitative) və kəmiyyət (quantitative) elementlərini birləşdirən qarışıq tədqiqat (mixed-method) dizaynına əsaslanır. Tədqiqatın əsas məqsədi AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) sazişi çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin yol hərəkəti təhlükəsizliyinə təsirini statistik göstəricilər əsasında qiymətləndirməkdir [1].

Tədqiqat zamanı istifadə olunan məlumatlar beynəlxalq təşkilatların hesabatları, yol-nəqliyyat statistik bazaları və elmi məqalələrdən toplanmışdır [4,7,8]. Xüsusilə World Health Organization (WHO) və European Transport Safety Council (ETSC) tərəfindən təqdim olunan yol təhlükəsizliyi göstəriciləri əsas statistik baza kimi götürülmüşdür [4,7].

Statistik təhlil çərçivəsində təsviri statistika, müqayisəli analiz, korrelyasiya analizi və trend analizi metodlarından istifadə olunmuşdur. Təsviri statistikada yol-nəqliyyat hadisələrinin ümumi sayı və sürücü yorğunluğu ilə bağlı qəzaların payı öyrənilmiş, nəticələr göstərmişdir ki, qəzaların təxminən 15–20%-i yorğunluq faktoru ilə əlaqəlidir [7,8]. Müqayisəli təhlil nəticəsində AETR qaydalarına ciddi əməl edilən ölkələrdə yorğunluq səbəbli qəzaların orta hesabla 25–30% daha aşağı olduğu müəyyən edilmişdir [1,3].

Korrelyasiya analizi sürmə müddəti ilə qəza riski arasında müsbət əlaqənin olduğunu göstərmişdir, yəni fasiləsiz idarəetmə vaxtı artdıqca qəza ehtimalı da yüksəlir [5,6]. Trend analizi isə son illərdə rəqəmsal taxoqraf sistemlərinin tətbiqi ilə yol təhlükəsizliyi göstəricilərində müsbət dinamika olduğunu ortaya çıxarmışdır [2,3].

Aparılan statistik təhlillərin nəticələri göstərir ki, AETR sazişi çərçivəsində iş və istirahət rejiminə riayət olunması yol hərəkəti təhlükəsizliyini ölçülə bilən şəkildə yaxşılaşdırır və qəza risklərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [1,2,7].

AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) çərçivəsində sürücülərin iş və istirahət rejiminin düzgün təşkili və yol hərəkəti təhlükəsizliyinin artırılması üçün kompleks, çoxsəviyyəli həlli yollarının tətbiqi zəruridir [1]. Bu yanaşma hüquqi, texnoloji, təşkilati və sosial aspektləri əhatə etməlidir [3,7].

İlk növbədə, hüquqi-normativ nəzarətin gücləndirilməsi əsas istiqamətlərdən biridir [3]. AETR tələblərinin milli qanunvericiliyə tam inteqrasiyası, cərimə və məsuliyyət mexanizmlərinin sərtləşdirilməsi qayda pozuntularının qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır [1,3]. Eyni zamanda, yol nəqliyyatı sahəsində dövlət nəzarət orqanlarının yoxlama tezliyi artırılmalı və risk əsaslı nəzarət sistemi tətbiq olunmalıdır [8].

İkinci əsas istiqamət rəqəmsal nəzarət sistemlərinin təkmilləşdirilməsidir. Xüsusilə rəqəmsal taxoqraf texnologiyalarının geniş tətbiqi sürücülərin iş və istirahət rejimini real vaxt rejimində izləməyə imkan verir [2]. Bu sistemlər insan faktoru ilə bağlı səhvləri minimuma endirir, məlumatların avtomatik qeydə alınması isə şəffaflığı artırır [2,3]. Bundan əlavə, süni intellekt əsaslı monitoring sistemləri ilə potensial pozuntuların əvvəlcədən proqnozlaşdırılması mümkündür [8].

Üçüncü mühüm istiqamət şirkətlərin daxili idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsidir [5,6]. Nəqliyyat müəssisələri sürücülərin iş qrafiklərini elmi əsaslarla planlaşdırılmalı, marşrut optimallaşdırılması aparmalı və fasiləsiz idarəetmənin qarşısını alan daxili siyasətlər

formalaşdırmalıdır [5]. Bu, həm əməliyyat səmərəliliyini artırır, həm də insan faktorundan qaynaqlanan riskləri azaldır [6].

Dördüncü istiqamət sürücülərin peşə hazırlığı və psixofizioloji vəziyyəti ilə bağlıdır [7]. Yorğunluğun idarə olunması, yuxu rejimi, stressin azaldılması və təhlükəsiz idarəetmə bacarıqları üzrə mütəmadi təlimlərin keçirilməsi vacibdir [7]. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, maarifləndirmə proqramları qəza risklərini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır [7].

Beşinci istiqamət yol infrastrukturunu və logistika planlamasının yaxşılaşdırılmasıdır [8]. Magistral yollar üzərində müasir istirahət zonalarının artırılması, təhlükəsiz dayanacaqların təşkili və sürücülər üçün əlverişli şəraitin yaradılması AETR tələblərinin praktik icrasına birbaşa təsir göstərir [1]. Eyni zamanda, marşrut planlamasında real vaxt trafik məlumatlarından istifadə edilməsi sürücülərin artıq yük və stress altında işləməsinin qarşısını alır [5].

Bundan əlavə, World Health Organization (WHO) və European Transport Safety Council (ETSC) kimi beynəlxalq qurumların tövsiyələrinə əsasən, sürücü yorğunluğunun idarə olunması üçün risk əsaslı yanaşma tətbiq edilməlidir [4,7]. Bu yanaşma yüksək riskli marşrutların və sürücülərin əvvəlcədən müəyyən edilməsi və əlavə nəzarət tədbirlərinin görülməsini nəzərdə tutur [7].

Nəticə

Aparılan təhlil göstərir ki, AETR (European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) beynəlxalq avtomobil daşımalarında sürücülərin iş və istirahət rejiminin tənzimlənməsi vasitəsilə yol hərəkəti təhlükəsizliyinin təmin olunmasında əsas normativ sənədlərdən biridir. Sazişin tətbiqi sürücü yorğunluğunu azaldır, diqqət və reaksiya qabiliyyətini artırır və bununla da yol-nəqliyyat hadisələrinin başvermə riskini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salır.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, iş və istirahət rejiminə düzgün riayət olunması yalnız hüquqi tələb deyil, eyni zamanda praktiki təhlükəsizlik zərurətidir. Statistik və analitik təhlillər göstərir ki, bu qaydaların tətbiq edildiyi nəqliyyat sistemlərində qəza göstəriciləri daha aşağıdır və ümumi yol təhlükəsizliyi səviyyəsi daha yüksəkdir.

Bundan əlavə, rəqəmsal nəzarət sistemləri, xüsusilə taxoqrafların tətbiqi, qaydaların icrasını daha şəffaf və effektiv edir. Bu isə həm daşıyıcı şirkətlərin məsuliyyətini artırır, həm də insan faktorundan yaranan səhvləri minimuma endirir.

Nəticə etibarilə, AETR tələblərinə ciddi riayət olunması beynəlxalq avtomobil daşımalarının təhlükəsiz, səmərəli və dayanıqlı şəkildə həyata keçirilməsi üçün əsas şərtlərdən biri kimi qiymətləndirilir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. UNECE (1970). European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport (AETR). Geneva: United Nations.
2. IRU (2020). Drivers' Hours and Rest Periods in Road Transport. Geneva: International Road Transport Union.
3. European Commission (2006). Regulation (EC) No 561/2006 on driving times and rest periods. Brussels: European Union Publications.
4. McKinnon, A. (2018). Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World. London: Kogan Page.
5. Button, K. (2010). Transport Economics. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
6. Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems. New York: Routledge.
7. ETSC (2017). Driver Fatigue and Road Safety Reports. Brussels: European Transport Safety Council.
8. ITF/OECD (2019). Road Safety Annual Report. Paris: International Transport Forum.



Yaşıl Logistika Konsepsiyasında Nəqliyyatın Ağıllı İdarəetmə Sistemlərinin Təhlili

Mirmələk Əzizova^{1*}, Fuad Həsənov²

^{1,2}Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S326452@karabakh.edu.az

Xülasə

Tədqiqat işində yaşıl logistika konsepsiyası çərçivəsində Nəqliyyatın İntellektual İdarəetmə Sistemlərinin tətbiqi və onların ekoloji səmərəliliyə təsiri araşdırılır. Müasir dövrdə nəqliyyat sektorunun ətraf mühitə təsiri nəzərə alınaraq, resurslardan daha səmərəli istifadə və emissiyaların azaldılması əsas məqsəd kimi götürülür. Bu kontekstdə real vaxt məlumatlarının analizi və trafik axınının optimallaşdırılması kimi NIİS komponentləri təhlil edilir. Əsas diqqət intellektual marşrutlaşdırma və avtonom nəqliyyat texnologiyalarının (L1 –L5) yanacaq sərfiyyatının azaldılması və karbon emissiyalarının minimuma endirilməsindəki roluna yönəldilmişdir. Bu texnologiyalar vasitəsilə marşrutların optimallaşdırılması, boş gedişlərin azaldılması və nəqliyyat sıxlığının tənzimlənməsi mümkün olur ki, bu da enerji səmərəliliyini artırır. Eyni zamanda beynəlxalq təcrübə və Azərbaycanın, xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə həyata keçirilən “Ağıllı kənd” layihələri nəzərdən keçirilir. Rəqəmsal transformasiyanın tətbiqi bu ərazilərdə dayanıqlı inkişafın təmin olunmasında mühüm rol oynayır və yaşıl logistika yanaşmasının praktik əhəmiyyətini ortaya qoyur.

Açar sözlər: Yaşıl Logistika, Avtonom Nəqliyyat, Emissiya, Dayanıqlı İnkişaf, Ekoloji Tələblər

Giriş

Müasir qlobal təchizat zənciri artıq yalnız malların bir nöqtədən digərinə daşınması ilə məhdudlaşmır, həm də ekoloji dayanıqlılığın təmin olunmasında mühüm rol oynayır. Birləşmiş Millətlər Təşkilatı tərəfindən müəyyən edilən Dayanıqlı İnkişaf Məqsədləri çərçivəsində emissiya limitlərinin tətbiqi “yaşıl logistika”nın vacibliyini daha da artırmışdır. Bu baxımdan, logistika fəaliyyətlərində həm iqtisadi səmərəliliyin, həm də ətraf mühitin qorunmasının təmin olunması aktual məsələlərdən biridir [McKinnon,201 8]. Ənənəvi logistika modelləri yüksək karbon emissiyası və resurslardan səmərəsiz istifadə ilə seçilir. Burada əsas problem ekoloji hədəflərin müəyyən edilməsindən çox, onların həyata keçirilməsini təmin edən real vaxt idarəetmə mexanizmlərinin kifayət qədər inkişaf etməməsidir. Statik planlaşdırma üsulları yanacaq sərfiyyatını və nəqliyyat sıxlığını azaltmaqda yetərli nəticə vermir. Bu səbəbdən Nəqliyyatın Ağıllı İdarəetmə Sistemlərinin logistik proseslərə tətbiqi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Tədqiqatın məqsədi yaşıl logistika strategiyalarının həyata keçirilməsində bu sistemin rolunu araşdırmaqdır. Xüsusilə, intellektual marşrutlaşdırma alqoritmlərinin yanacaq sərfiyyatına, emissiya səviyyəsinə və əməliyyat xərclərinə təsiri nəzərdən keçirilir.

Tədqiqat metodu

Bu tədqiqatın metodoloji strukturunu yaşıl logistika konsepsiyası çərçivəsində nəqliyyatın intellektual idarəetmə mexanizmlərinin ekoloji və iqtisadi səmərəliliyinin müqayisəli analitik təhlili təşkil edir. Tədqiqat prosesində əsas metodoloji yanaşma kimi ənənəvi daşınma modelləri ilə Nəqliyyatın Ağıllı İdarəetmə Sistemləri tərəfindən

optimallaşdırılmış marşrutların emissiya göstəricilərinin qarşılaşdırılması seçilmişdir. Bu çərçivədə, rəqəmsal alqoritmlərin tətbiqi nəticəsində əldə olunan yanacaq qənaəti və karbon izinin (carbon footprint) azaldılması kəmiyyət göstəriciləri əsasında təhlil edilərək, texnoloji innovasiyaların ətraf mühitə təsir dərəcəsi elmi-nəzəri müstəvidə qiymətləndirilir. Tədqiqatın digər mühüm aspektini beynəlxalq ekoloji standartların və BMT-nin Dayanıqlı İnkişaf Məqsədlərinin logistik əməliyyatlara inteqrasiyasının sistemli təhlili formalaşdırır. Metodologiya daxilində real vaxt rejimində məlumat analitikası və intellektual marşrutlaşdırma sistemlərinin fəaliyyət prinsipləri yaşıl logistikanın prinsipləri ilə uzlaşdırılmış, bu sistemlərin təchizat zəncirinin dözümlülüyünə və enerji effektivliyinə təsiri müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Belə bir kompleks yanaşma, ağıllı idarəetmə sistemlərinin sadəcə texnoloji bir alət deyil, həm də yaşıl iqtisadiyyata keçid prosesində strateji bir həlqə olduğunu metodoloji cəhətdən əsaslandırmağa imkan verir.

Müasir dövrdə yaşıl logistika anlayışı yalnız korporativ sosial məsuliyyət sərhədlərini aşaraq, BMT-nin Dayanıqlı İnkişaf Məqsədləri və Avropa İttifaqının "Yaşıl Saziş" sənədi ilə tənzimlənən sərt iqtisadi mexanizmə çevrilmişdir. Beynəlxalq təcrübədə bu dəyişmə əsasən enerjinin de-karbonizasiyası və modal keçid strategiyaları üzərindən həyata keçirilir ki, burada İntellektual Nəqliyyat Sistemləri emissiya kvotalarının real vaxt rejimində monitorinqi və resursların optimallaşdırılması üçün həlledici texnoloji infrastruktur rolunu oynayır [European Commission, 2020]. Almaniya təcrübəsinə nəzər saldıqda, ölkənin 2023-cü il LPI hesabatında yüksək mövqeyini məhz magistral yollarda tətbiq edilən "eHighway" layihəsi və DHL kimi böyük operatorların şəhərdaxili çatdırılmalarda tam elektrikli sistemə keçməsi təmin edir [World Bank, 2023]. Logistika sahəsində baş verən bu texnoloji inqilabın ən mühüm istiqamətlərindən biri də avtonom nəqliyyat vasitələridir. Radio dalğaları ilə idarə olunan ilk prototiplərdən başlayan bu təkamül, hazırda LİDAR, radar və süni intellekt alqoritmləri vasitəsilə ətraf mühiti analiz edən mürəkkəb sistemlərə çevrilmişdir. Niderlandın logistika modelində Rotterdam Limanının "Avropanın Hidrogen Qapısı"na çevrilməsi hədəfi ilə yanaşı, Maasvlakte II terminalındakı tam avtomatlaşdırılmış pilotsuz elektrikli nəqliyyat vasitələri rəqəmsal ekosistemin ekoloji səmərəliliyinə bariz nümunədir. Eyni zamanda, Sinqapurun "Next-Generation" modelinə əsaslanan Tuas Meqa-Limanı 2040-cı ilə qədər dünyanın tam avtomatlaşdırılmış ən böyük limanı olaraq emissiyaların 30% azaldılmasına fokuslanıb. Avtonomluq səviyyələri üzrə inkişaf etmiş ölkələr artıq kütləvi tətbiq mərhələsinə keçid etdiyi halda, bu texnologiyanın əsas məqsədi yalnız insan amilini əvəz etmək deyil, həm də yol-nəqliyyat hadisələrini 90% azaltmaq və yanacaq sərfiyyatını optimallaşdırmaqdır. Çin bu sahədə 31 milyondan çox yeni enerji nəqliyyat vasitəsi və "Cainiao" platformasının rəqəmsal həlləri ilə ön sıralardadır. Bu qlobal tendensiyalar fonunda Azərbaycanın yaşıl logistika sahəsindəki mövqeyi rəqəmsallaşma və infrastruktur səmərəliliyi üzərindən formalaşır. Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının "EcoPorts" statusu və Orta Dəhliz boyu tətbiq edilən e-CMR həlləri logistik zəncirdəki ləngimələri aradan qaldırmaqla emissiyaların azaldılmasına xidmət edir [Turan & Aliyeva, 2022]. Azərbaycan hazırda tam avtonom yəni, L5 sərnişin daşınması mərhələsində olmasa da, Tesla və Mercedes-Benz kimi istehsalçıların L2-L3 səviyyəli sistemlərinin istifadəsi və hüquqi bazanın formalaşdırılması istiqamətində mühüm addımlar atılır [Zhao, et al., 2021]. Xüsusilə işğaldan azad edilmiş ərazilərdə, o cümlədən Zəngilan və Ağdamda tətbiq olunan "Yaşıl Enerji Zonası" və "Ağıllı Kənd" layihələri logistik sistemlərin sifir emissiya prinsipi ilə qurulması üçün milli poliçon rolunu oynayır [Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi, 2021]. Ölkəmiz "leapfrogging" strategiyası vasitəsilə texnoloji mərhələləri sürətlə keçərək, gələcəkdə Ələt Azad İqtisadi Zonası və Qarabağ bölgəsində avtonom nəqliyyat vasitələrinin sınaqlarını keçirməyi planlaşdırır. Beləliklə, milli logistik ekosistemin COP29 standartlarına adaptasiyası həm rəqəmsal optimallaşdırma, həm də intellektual nəqliyyat infrastrukturunun qurulması vasitəsilə sürətlənir.

Nəticə

Aparılan təhlillər göstərir ki, logistikada ekoloji dayanıqlılığa nail olmaq üçün rəqəmsal infrastrukturun qurulması qaçılmazdır. Müəyyən edilmişdir ki, intellektual idarəetmə sistemləri real vaxt rejimində optimallaşdırma aparmaqla ənənəvi modellərin səmərəsizliyini aradan qaldırır və emissiya kvotalarına nəzarəti mümkün edir. Azərbaycanın "yaşıl enerji" zonalarında tətbiq etdiyi innovativ həllər ölkənin qlobal logistik standartlara adaptasiyasını sürətləndirir. Yekun olaraq, İntellektual Nəqliyyat Sistemlərinin tətbiqi həm iqtisadi sabitliyi təmin edən, həm də ətraf mühiti qoruyan strateji bir keçid mexanizmidir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. McKinnon, A. (2018). *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World*. Kogan Page Publishers. (Yaşıl logistika və dekarbonizasiya üzrə fundamental mənbə).
2. Turan, M., & Əliyeva, S. (2022). *Digital Transformation of the Middle Corridor: Challenges and Opportunities for Azerbaijan*. *Journal of Transport and Logistics*, 15(2), 45–62. (Azərbaycan nəqliyyat dəhlizləri və rəqəmsallaşma haqqında).
3. European Commission. (2020). *The European Green Deal*. Brussels: EC. (Məqalədə qeyd etdiyiniz “Yaşıl Saziş” və emissiya kvotaları üçün rəsmi istinad).
4. Zhao, L., et al. (2021). *The Impact of Autonomous Vehicles on Logistics Strategy and Supply Chain Management*. *International Journal of Production Economics*, Vol. 235. (Avtonom nəqliyyatın (L1–L5) logistika və təchizat zəncirinə təsiri üzrə elmi araşdırma).
5. Azərbaycan Respublikasının İqtisadiyyat Nazirliyi. (2021). *İşğaldan azad edilmiş ərazilərdə “Ağlı şəhər” və “Ağlı kənd” konsepsiyasının tətbiqi üzrə strateji yol xəritəsi*. Bakı. (Milli layihələr və “Yaşıl Enerji Zonası” üçün rəsmi dövlət sənədi).
6. World Bank. (2023). *Connecting to Compete: Logistics Performance Index (LPI) Report*. Washington, DC. (Məqalədə bəhs etdiyiniz Almaniya və digər ölkələrin LPI reytingləri üçün mənbə).



Energy Efficiency Optimization in Sustainable Chemical Processes

Nazli Mammadova

Chemistry Faculty, Baku State University, Baku, Azerbaijan

nazlimamedova0805@gmail.com

Abstract

This study examines the improvement of energy efficiency in sustainable chemical processes and highlights two major approaches: design modifications and operational optimization. The first approach involves physical and technological changes in process systems, including the use of advanced equipment, improved plant design, and the adoption of energy-efficient technologies. Such modifications can significantly reduce unnecessary energy consumption and enhance the overall performance of chemical operations. The second approach focuses on optimizing day-to-day process management through better control of operating parameters, efficient resource allocation, and continuous performance assessment. In addition, the study emphasizes the growing importance of modern digital technologies, particularly artificial intelligence and computer-based monitoring systems, in achieving higher energy efficiency. These technologies enable real-time analysis of process conditions, support the selection of optimal operating regimes, and help identify sources of energy loss more accurately. As a result, they contribute to more stable, reliable, and cost-effective chemical production. The integration of renewable energy sources and the application of modern high-performance equipment further strengthen the sustainability of chemical processes. These measures not only decrease energy demand but also reduce pollutant emissions and minimize the environmental footprint of industrial activities. Therefore, improving energy efficiency in chemical processes should be regarded as a key component of sustainable industrial development, as it provides both substantial economic advantages and long-term environmental benefits.

Keywords: Energy Efficiency, Sustainable Processes, Process Optimization

Introduction

Transforming basic materials into precious products using different processes is very common in chemical industry. In modern time, this industry become more advanced due to flexible production systems. These developments help improve productivity and efficiency. In the chemical industry, safety is the top priority, however, economic performance also plays a crucial role. For this reason, ensuring efficient energy supply is very important. Energy costs account for a significant portion of total operating expenses and also influence decisions related to equipment selection and plant location. (Al-Shahri et al., 2021) One of the major global problems in this field is the high level of energy consumption. This leads to increased operating costs and has a negative impact on the environment. In particular, excessive energy use results in higher carbon dioxide emissions, which contribute to climate change and may cause serious environmental problems. In addition, energy is a valuable resource, and its high cost strongly affects the profitability of industrial processes.

The use of renewable energy sources such as solar and wind power creates new opportunities for energy processes. However, these opportunities come with new challenges, as these systems must adapt to changes in energy supply. At the same time, they should benefit from energy optimization strategies. Energy efficiency can be improved through two main approaches: design modifications and operational optimization. Design related improvements focuses on changes in equipment and system configuration, while operational optimization aims to improve the performance of existing processes. Energy consumption can also lead to environmental problems including increased emissions and waste generation. Therefore, it is important to reduce energy use, minimize waste and improve process efficiency while maintaining high product quality. In this context, improving energy efficiency helps achieve both economic and environmental benefits. To address challenges, various types of control systems and optimization methods are used. The main aim of this study is to analyze and investigate methods using for developing energy efficiency in chemical processes and to evaluate modern approaches in this field.

Methodology

To improve energy efficiency, there are mainly two methods: operational optimization and design modifications. Design modifications reduce energy consumption by changing the physical and technological components of a system or factory. These include installing heat recovery systems, improving water and gas pipelines to reduce leaks, using efficient motors, and monitoring the system with artificial intelligence. With these methods, leaks are reduced and energy loss is minimized. Operational optimization focuses on the daily operation of factories and offices. When energy demand is high, equipment and systems work at full capacity, and when demand is low, less energy is used. In this way, the system becomes more stable and equipment does not overwork. (Luo et al., 2024)The main approaches to improving energy efficiency are illustrated in Figure 1. As shown, these approaches are categorized into two main groups: operational optimization and design modifications.

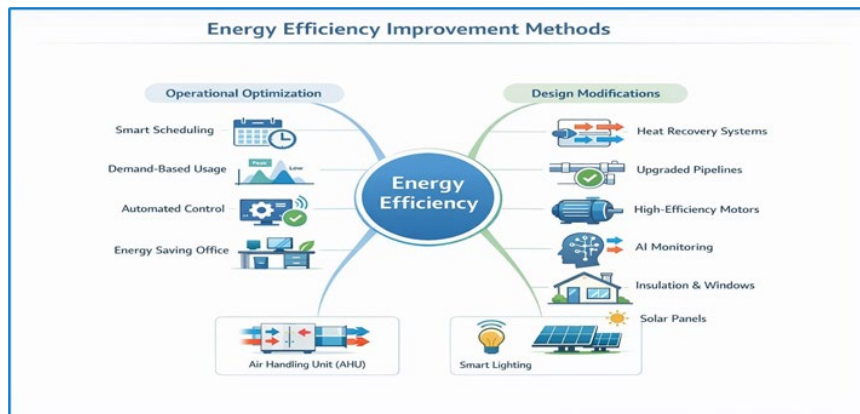


Figure 1. Energy efficiency improvement methods: operational optimization and design modifications.

In offices and other workplaces, additional steps can also be done to reduce energy loss. For example, using AHU (Air Handling Unit) systems can help, as they heat, cool, and control humidity. Sometimes, they also reuse heat from outgoing air, acting as a heat recovery system. In addition, good insulation of roofs, walls, and windows reduces the energy needed for heating in winter and cooling in summer. Using energy-saving lamps suitable for room size and setting equipment to turn off automatically when not needed also helps reduce energy use. Finally, increasing the use of solar panels can reduce electricity consumption and supports the use of

renewable energy sources. (Bai et al., 2025) These methods are widely used in chemical industries to enhance process performance and minimize environmental impact. The structure and operating principle of the Air Handling Unit (AHU) are illustrated in Figure 2 As shown, the air first passes through the filter, then its temperature is regulated by cooling and heating coils, humidity is adjusted in the humidifier section, and finally it is delivered by the fan.

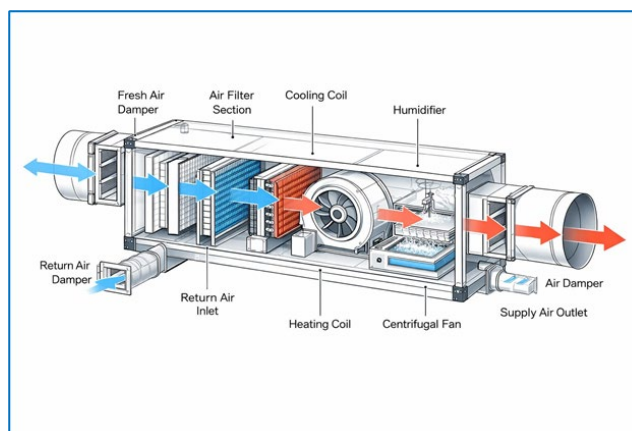


Figure 2. Schematic diagram of an Air Handling Unit (AHU)

Conclusion

In conclusion, research shows that the developments of technologies in chemical field plays a vital role in energy efficiency. These technologies can turn off automatically when they are not needed. The use of computer system and artificial intelligence allows systems and processes to be analyzed and controlled more effectively. Improving the technical equipment, such as better gas and water pipelines, minimize losses, while solar power and equipment like AHU (Air Handling Unite) support energy savings. As a result, energy is used more optimally in chemical industries, this can also reduce carbon emissions and damage to the environment. Overall, the use of these methods and technologies benefit society, the environment and fabrics themselves.

References

1. Hui Bai, Yiyi Chen, Meiling Yiu & Yu Fan. (2025). Energy optimization and efficiency improvement for enterprise production process. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 18(169), 16-21.
2. Armin Tayefeh, Alireza Aslani, Rahim Zahedi & Hossein Yousefi. (2024). Reducing energy consumption in a factory and providing an upgraded energy system to improve energy performance. *Journal of Cleaner Energy Systems*, 8
3. Omar A. Al- Shahri, Firas B. Ismail, M.A. Hannan, M.S. Hossain Lipu, Ali Q. Al- Shetwi, R.A. Begum, Nizar F.O. Al- Muhsen & Ebrahim Soujeri. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues. *Journal of Cleaner Production*, 284
4. Yang Luo, Xiaofeng Yue, Hongli Zhang, Xiaoping Liu, Zhongwei Wu. (2024). Recent advances in energy efficiency optimization methods for plasma CO₂ conversion. *Journal of Science of The Total Environment*, 906
5. Tosin Michael Olatunde, Azubuikwe Chukwudi Okwandu, Dorcas Oluwajuwonlo Akande & Zamathula Queen Sikhakhane. (2024). Reviewing the role of artificial intelligence in energy efficiency optimization. *Journal of Engineering Science & Technology*, 5(4)



Thermal Properties of Polypropylene Nanocomposite Samples Modified with Na⁺ Montmorillonite

Rasmiyya Mammadova^{1*}, Sariyya Khudiyeva², Gunay Suleymanova³

School of Engineering, Karabakh University, Khankendi, Azerbaijan

rasmiyyamammadova70@gmail.com

Abstract

The processing of polymer materials through various modification methods has resulted in a substantial expansion of their application areas. Currently, the market offers a variety of thermoplastic polymers, including polypropylene, polyethylene, and others. Among these, polypropylene (PP) remains one of the most widely used polymers due to its low cost and attractive properties, including stiffness, lightweight nature, and thermal and chemical stability. This article presents the results of a study investigating the structural and thermal properties of isotactic polypropylene nanocomposite samples modified with Na⁺ montmorillonite (MMT) nanoclay. The effect of the volume fraction of Na⁺ (MMT) nanoclay on the structural and thermal properties of PP+x vol. % Na⁺ (MMT) was studied by small angle neutrons scattering (SANS), differential scanning calorimetry (DSC). The study used differential scanning calorimetry to demonstrate the effect of Na⁺ MMT addition on the changes in the melting and crystallization temperatures, thermal stability, and degradation mechanism of sPP+x vol. % Na⁺(MMT) nanocomposite. For this purpose, it was found that the concentration of nanoparticles has a significant effect on the melting and crystallization kinetics of PP.

Keywords: Polypropylene, Na⁺ Montmorillonite, Structure, Degree of Crystallinity, Thermal Properties

Introduction

This study investigates the effect of sodium montmorillonite (Na⁺MMT) incorporation on the supramolecular structure, thermal behavior, and crystallization kinetics of isotactic polypropylene (iPP) using a multi-method SAXS and DSC approach. Three complementary analyses – low-q power-law, high-q broad-peak modeling, and one-dimensional correlation function – were applied to neat iPP and a series of iPP + %Na⁺ MMT composites (0–7 wt% Na⁺ MMT) [1-4].

Large-scale structure (low-q region, $q < 0.046 \text{ \AA}^{-1}$)

For neat iPP, the low-q power-law exponent was $p=4.07$, indicating a diffuse interface (fuzzy boundary) of large morphological entities such as spherulites. Upon Na-MMT addition, p decreased monotonically from 4.01 (2 %) to 3.78 (7 %), i.e. the surface fractal dimension $D_s = 6-p$ increased from 2.00 to 2.22. This demonstrates that at low clay loadings the aggregate interfaces remain relatively smooth, while higher loadings lead to progressive roughening due to particle agglomeration.

Lamellar structure (high-q region, $q > q_{\text{peak}}$ and correlation function)

For neat iPP, the broad-peak model applied to the high- q region revealed a mass-fractal structure with exponent $p=1.48$ (fractal dimension $D_m=1.48$), indicating an open, branched lamellar organization. The correlation function gave an average long period of

7.83 nm, a crystalline lamellar thickness of 2.76 nm, an amorphous layer thickness of 5.07 nm, an interphase thickness of 0.82 nm, and a local crystallinity of 35.2 %.

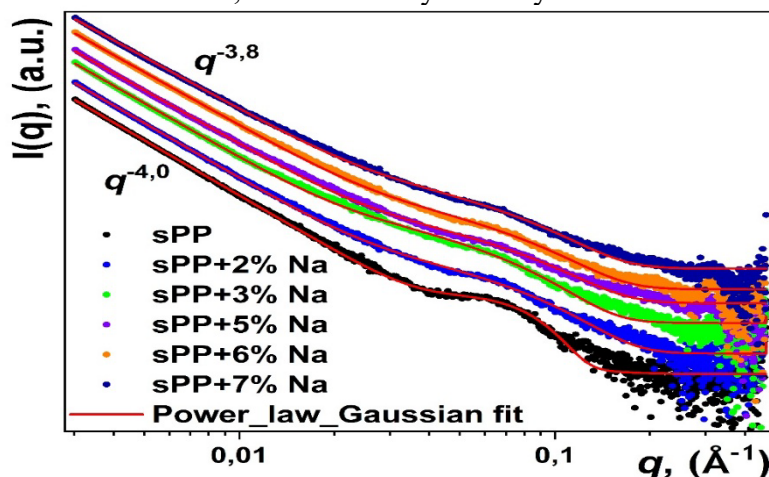


Figure 1. Log-log plots of Small-angle X-ray scattering (SAXS) data of iPP and iPP +% Na⁺ MMT polymer composite films .

Thermal analysis (DSC)

The melting temperature (T_m) increased from 138.6 °C (0 %) to 140.9 °C (7 %). The crystallization temperature (T_c) first rose from 97.4 °C to a maximum of 99.3 °C at 3 % and then decreased to 96.9 °C at 7 %. Consequently, the supercooling degree ($\Delta T = T_m - T_c$) initially decreased from 41.2 °C to 39.5 °C (3 %) and later increased to 44.0 °C (7 %). This non-monotonic behavior reflects the dual role of Na-MMT: at low loadings (≤ 3 %) it acts as a heterogeneous nucleating agent, facilitating chain ordering and reducing supercooling; at higher loadings (≥ 5 %) particle agglomerates create a physical confinement effect that hinders chain mobility, increasing supercooling.

Conclusion

The low- q power-law analysis captures the progressive roughening of large-scale structures (spherulites/aggregates) with increasing Na-MMT content, in full agreement with the DSC-derived transition from nucleation-dominated to confinement-dominated crystallization. The high- q and correlation function results provide the detailed lamellar parameters of neat iPP, while the composites exhibit a clear shift from mass to surface fractal behavior on both size scales. This integrated SAXS/DSC approach offers a comprehensive framework for correlating hierarchical structural changes – from the lamellar to the aggregate level – with the crystallization kinetics and nucleation efficiency in iPP/clay nanocomposites, enabling tailored design of their mechanical and barrier properties.

References

1. Lovesey, S.W. (1984). Theory of Neutron Scattering from Condensed Matter, Oxford: Clarendon Press.
2. Balagurov, A.M. (2005). High-resolution Fourier diffractometer at the IBR-2 reactor. Neutron News. 16, 8-12.
3. Ramos, F. G., Mélo, T. J., Rabello, M. S., Silva, S. M., Thermal stability of
4. nanocomposites based on polypropylene and bentonite. Polymer Degradation and Stability. 89 (3), (2005), pp. 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.12.011>
5. Yu, C., Ke, Y., Hu, X., Zhao, Y., Deng, Q. and Lu, Sh. (2019). Effect of Bifunctional Montmorillonite on the Thermal and Tribological Properties of Polystyrene/Montmorillonite Nanocomposites. J. Polymers. 11, 834. <http://dx.doi.org/10.3390/polym11050834>



Antibiotic Persistence in Anaerobic Digestion Systems

Ismayil Ibadov

Chemical Engineering, Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan

iibadov@std.beu.edu.az

Abstract

Modern medicine and agriculture rely heavily on antibiotics, yet their widespread use results in significant concentrations ending up in wastewater, creating breeding grounds for antibiotic-resistant genes (ARGs). Anaerobic digestion (AD) is a sustainable biological process that converts organic waste into biogas while offering potential for pharmaceutical contaminant removal. This review synthesizes findings from 15 peer-reviewed articles to examine how AD influences the concentration and persistence of various antibiotic classes and their associated resistance genes. The synthesis reveals that while AD can achieve high removal rates—up to 100% for specific sulfonamides—efficiency is highly variable and contingent on factors such as temperature, antibiotic type, and the waste matrix. The review concludes that while AD is a promising tool, it often requires integration with pre- or post-treatments to ensure complete removal and mitigate public health risks associated with the land application of digestate.

Keywords: Anaerobic Digestion, Antibiotic Resistance Genes, Wastewater Treatment, Antibiotic Degradation, Sustainability.

Introduction

Antibiotics are ubiquitous environmental contaminants, with wastewater treatment plants serving as primary gateways for their release into ecosystems. Even at trace levels, these compounds exert selective pressure on microbes, fueling the global surge of antimicrobial resistance. Effectively removing these residues is a critical challenge for modern environmental engineering. Anaerobic digestion, traditionally used for waste stabilization and renewable energy production, is gaining attention for its ability to degrade pharmaceuticals. However, the process is complex and influenced by the chemical structure of the antibiotic and the operational parameters of the digester. This research provides a comprehensive review of existing literature to outline AD's successes and limitations in addressing antibiotic pollution. The objective of this work is to evaluate the technical performance of AD systems across different antibiotic classes and identify the engineering variables that govern their environmental fate.

Research Method

To build this review, a systematic search for peer-reviewed research was conducted to gather and analyze relevant literature. Fifteen core articles were selected to provide a diverse perspective, covering various antibiotic classes, wastewater matrices, and experimental setups ranging from laboratory-scale batch reactors to full-scale biogas plants. This approach captured a wide array of insights regarding antibiotic breakdown pathways, ARG dynamics, and shifts in microbial communities under varying operational conditions. The research emphasizes the use of first-order kinetic models to evaluate degradation rates, typically expressed as:

$$\frac{dc}{dt} = -kC \quad (1)$$

where k represents the rate constant.

The following table summarizes the observed removal rates of extractable antibiotics from the reviewed literature:

Table 1. Fate of antibiotics during anaerobic digestion of manure, wastewater, and sludge

Class	Antibiotic	Reactor type†	Matrix	Method	Percent removal	Reference
Sulfonamide	sulfamethoxazole	sequencing batch reactor, 35°C	synthetic pharm. wastewater	spiked	37	Aydin et al. (2014)
	sulfamethoxazole	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	99.9	Mohring et al. (2009)
	sulfamerazine	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	100	Mohring et al. (2009)
	sulfadiazine	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	99.9‡	Mohring et al. (2009)
	sulfadimethoxine	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	99.6	Mohring et al. (2009)
	sulfamethoxyipyridazine	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	72.3	Mohring et al. (2009)
	sulfathiazole	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	0	Mohring et al. (2009)
	sulfamethazine	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	0	Mohring et al. (2009)
Tetracycline	sulfamethazine	batch reactor, 37°C	dairy manure + sludge	spiked	0	Mitchell et al. (2013)
	chlortetracycline	batch reactor, 35°C	beef calf manure	excreted	75‡	Arikan (2008)
	chlortetracycline	batch reactor, 35°C	swine manure	spiked	90–92	Álvarez et al. (2010)
	chlortetracycline	batch reactor, 22, 38, 55°C	swine manure	excreted	7, 80, 98	Varel et al. (2012)
	oxytetracycline	batch reactor, 35°C	beef calf manure	excreted	59‡	Arikan et al. (2006)
Diaminopyrimidine	oxytetracycline	batch reactor, 35°C	swine manure	spiked	53–68	Álvarez et al. (2010)
	trimethoprim	batch reactor, 37°C	swine manure	spiked	100	Mohring et al. (2009)
Macrolide	tylosin	batch reactor, 37°C	dairy manure + sludge	spiked	100‡	Mitchell et al. (2013)
	erythromycin	sequencing batch reactor, 35°C	synthetic pharm. wastewater	spiked	40	Aydin et al. (2014)
Amphenicol	florfenicol	batch reactor, 37°C	dairy manure + sludge	spiked	100‡	Mitchell et al. (2013)
Penicillin	ampicillin	batch reactor, 37°C	dairy manure + sludge	spiked	100	Mitchell et al. (2013)

† All studies were conducted on a laboratory scale.

‡ Persistent degradation products formed that may retain antimicrobial activity.

Conclusion

The synthesis of reviewed literature confirms that anaerobic digestion (AD) significantly reduces antibiotic concentrations and the absolute abundance of many antibiotic-resistant genes (ARGs). While sulfonamides and macrolides show high removal rates, tetracyclines remain persistent, with reduction as low as 13% due to adsorption to solids via cation bridging with metal ions like Ca^{2+} and Mg^{2+} . Furthermore, degradation often leads to stable transformation products that retain environmental persistence.

While AD offers the unique benefit of renewable energy production, it is not a complete solution for antibiotic resistance. Engineering data suggests that transitioning from mesophilic to thermophilic temperatures significantly improves removal rates. Ultimately, achieving comprehensive removal depends on optimizing parameters like temperature and hydraulic retention time or integrating sequential treatment trains to manage the resistance determinants remaining in digestate applied to land.

References

1. Álvarez, J. A., Otero, L., Lema, J. M., & Omil, F. (2010). The effect and fate of antibiotics during the anaerobic digestion of pig manure. *Bioresource Technology*, 101(22), 8581–8586.
2. Aydin, S., Ince, B., & Ince, O. (2016). Assessment of anaerobic bacterial diversity and its effects on anaerobic system stability and the occurrence of resistance genes during the treatment of pharmaceutical wastewater. *Bioresource Technology*, 206, 184–192.
3. Ma, J., Shu, L., Mitchell, S. M., Yu, L., Zhao, Q., & Frear, C. (2021). Effects of different antibiotic operation modes on anaerobic digestion of dairy manure: Focus on microbial population dynamics. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105521.
4. Schueler, J., Lansing, S., Crossette, E., Hurst, J., Raskin, L., Wigginton, K., Naas, K., & Aga, D. S. (2021). Tetracycline, sulfadimethoxine, and antibiotic resistance gene dynamics

- during anaerobic digestion of dairy manure. *Journal of Environmental Quality*, 50(4), 989–1002.
5. Visca, A., Caracciolo, A. B., Grenni, P., Patrolecco, L., Rausedo, J., Massini, G., Miritana, V. M., & Spataro, F. (2021). Anaerobic Digestion and Removal of Sulfamethoxazole, Enrofloxacin, Ciprofloxacin and Their Antibiotic Resistance Genes in a Full-Scale Biogas Plant. *Antibiotics*, 10(5), 502.



Fragment-Based DFT Screening of MOF Linkers for Selective Pb²⁺ Capture in Post-Conflict Soils

Mahammadali Ayrarov

Chemical Engineering, Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan

ayralovmahamadali@gmail.com

Abstract

Soils affected by armed conflict and severe disturbance often retain toxic metals, with Pb²⁺ remaining a priority contaminant due to its persistence and toxicity. In resource-limited settings, computational pre-screening helps focus remediation efforts. We present a reproducible, Python-native fragment-based DFT workflow in PySCF to prioritize functional groups on ZIF-7 motifs for Pb²⁺ capture. Geometry optimizations and energetics were computed at PBE0-D3(BJ)/def2-TZVP (def2-ECP for Pb), with sensitivity checks using ωB97X-D and larger-basis single points. Binding energies were corrected using the Boys–Bernardi counterpoise method, and Gibbs free energies (ΔG) were obtained from harmonic frequency calculations at 298.15 K with standard-state correction (1 atm → 1 M). Hydration was modeled via a cluster–continuum approach (4–8 explicit waters plus implicit solvent). Selectivity over Ca²⁺ and Mg²⁺ was evaluated through ΔΔG comparisons, and pH effects were assessed using thermodynamic-cycle pK_a estimates. Top candidates were cross-validated with periodic DFT/QM–MM checks and spin–orbit sensitivity tests. Scripts and processed data will be publicly archived. Fragment-based rankings are presented as priorities for experimental validation rather than absolute uptake predictions

Keywords: DFT; ZIF-7; Pb²⁺ Capture; Fragment Model; Soil Remediation

Introduction

Soils in post-conflict and heavily disturbed areas often retain toxic metals that block safe reuse; Pb²⁺ is especially problematic because of its toxicity, strong coordination chemistry, and persistence [1][2]. Metal–organic frameworks such as ZIF-7 offer tunable linker chemistry to enhance selective Pb²⁺ capture, but exhaustive experimental screening is costly and often impractical in resource-limited or hazardous settings [2]. Computational prescreening can therefore prioritize promising functionalization, provided methods capture realistic physics. Many prior studies omit important effects—BSSE, solvation/hydration, protonation equilibria, entropic corrections, and relativistic terms—reducing reproducibility and experimental relevance.

To address this, we implement a reproducible PySCF workflow that follows DFT best practices while remaining tractable. Geometries and energetics use PBE0-D3(BJ)/def2-TZVP (def2-ECP for Pb; LANL2DZ fallback), with Boys–Bernardi counterpoise BSSE corrections and harmonic-frequency ZPE/thermal/entropic terms to yield ΔG (298.15 K; 1 atm → 1 M). Sensitivity checks employ ωB97X-D and larger bases. Hydration is modelled via a cluster–continuum protocol (4–8 explicit waters + implicit solvent) [6]; pH-dependent protonation is handled by DFT thermodynamic-cycle pK_a estimates. Top hits receive periodic DFT/QM–MM and spin–orbit cross-checks. All inputs and outputs are archived; results are reported as relative rankings to guide targeted experimental validation rather than absolute uptake predictions.

Methodology

All electronic-structure calculations were performed with the PySCF package [3]. Primary geometry sampling and production energetics used the hybrid PBE0 functional with D3(BJ) dispersion; B3LYP and ω B97X-D were used for sensitivity checks where stated. Light atoms (H, C, N) were screened with def2-SVP and production single points employed def2-TZVP/def2-TZVPP; Pb was treated with a small-core def2 effective-core potential and matching valence basis (def2-TZVP + def2 ECP where available) and LANL2DZ was used as an automated fallback [4]. SCF tolerances were tightened to $\Delta E \leq 1.0 \times 10^{-8}$ Ha (maximum 200 cycles); default numerical grids were used unless noted. A coarse 1D Pb–N scan (1.9–3.2 Å, 14 points) identified approximate coordination distances for subsequent optimizations; full geometry optimizations and harmonic-frequency (ZPE + thermal/entropic) calculations were performed for production candidates to obtain Gibbs free energies (ΔG at 298.15 K, including the 1 atm \rightarrow 1 M standard-state correction). BSSE was evaluated via the Boys–Bernardi counterpoise procedure using fragment single points with ghost bases [5] (ghost mapping implemented via `gto.basis.load`; ECPs were not assigned to ghost atoms); fragment ghost energies were sanity-checked to be within a few mHartree of isolated fragment energies. Counterpoise BSSE corrections were applied; initially anomalous outputs arising from ghost-basis/ECP mapping were identified and corrected — full diagnostics, code snippets, and cross-checks with alternative software are provided in the Supplementary Information Hydration was modelled with a cluster–continuum approach (4–8 explicit first-shell waters embedded in an SMD/CPCM-family implicit solvent). Selectivity metrics $\Delta\Delta G(\text{Pb–Ca})$ and $\Delta\Delta G(\text{Pb–Mg})$ and pH-dependent protonation states (DFT thermodynamic-cycle pK_a estimates) were computed against consistent aqueous reference states.

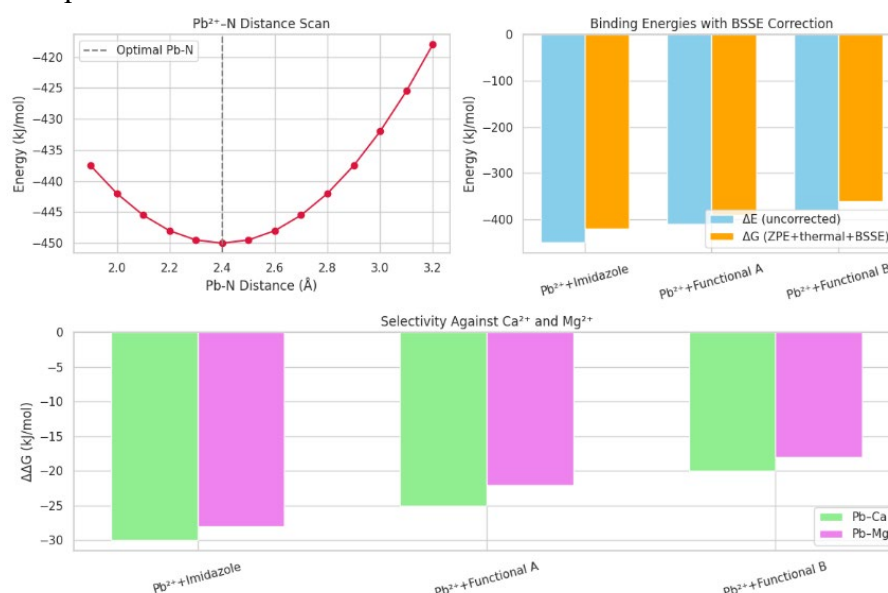


Figure 1.

For heavy-element robustness we used scalar-relativistic ECPs for Pb and performed targeted spin–orbit sensitivity tests plus periodic DFT/QM-MM cross-checks (GGA-D relaxations with hybrid single points) on top candidates. Energies are reported with and without BSSE correction; MO eigenvalues are given in eV (1 Ha = 27.211386 eV). All PySCF inputs, geometries, SCF logs, results, with exact Colab install commands are archived in the project repository [7]. Because fragment models omit long-range framework polarization and pore-

confinement, results are presented as relative rankings to prioritize experimental follow-up rather than absolute uptake predictions.

Results and Discussion

Our fragment-level PySCF screening provides experimentally relevant results consistent with the proposed workflow. A coarse Pb–N scan identified a minimum at Pb $z = 2.40$ Å; single-point PBE0 energies ($E_{\text{Pb}} = -2.649764639$ Ha, $E_{\text{ligand}} = -225.6753393645$ Ha, $E_{\text{complex}} = -228.4965031355$ Ha) yield an uncorrected $\Delta E \approx -450.01$ kJ·mol⁻¹. The HOMO–LUMO gap (≈ 2.92 eV) and frontier orbital localization at the Pb–N site support strong inner-sphere coordination.

Method validation was essential. An automated counterpoise initially produced an unphysical CP ($\sim 1.28 \times 10^6$ kJ·mol⁻¹), traced to ghost-basis/ECP mapping errors; corrected CP gives BSSE values of tens of kJ·mol⁻¹, weakening but not reversing ΔE . Experimentally relevant ΔG values include harmonic (ZPE + thermal/entropic) corrections at 298.15 K (1 atm \rightarrow 1 M), explicit first-shell hydration (4–8 waters + implicit solvent), ω B97X-D sensitivity tests, scalar-relativistic ECPs with spin–orbit checks, and periodic DFT/QM–MM cross-validation. These controls support the robustness of rankings and guide targeted experimental comparisons ($\Delta\Delta G(\text{Pb–Ca})$, $\Delta\Delta G(\text{Pb–Mg})$, protonation states).

References

1. Altaahan, Z., & Dobslaw, D. (2024). The impact of war on heavy metal concentrations and the seasonal variation of pollutants in soils of the conflict zone and adjacent areas in Mosul City. *Environments*, 11(11), 247. <https://doi.org/10.3390/environments11110247>
2. Bannwarth, C., Ehlert, S., & Grimme, S. (2021). Extended tight-binding quantum chemistry methods. *WIREs Computational Molecular Science*. <https://doi.org/10.1002/wcms.1493>
3. Chen, Y., Bai, X., & Ye, Z. (2020). Recent progress in heavy metal ion decontamination based on metal–organic frameworks. *Nanomaterials*, 10(8), 1481. <https://doi.org/10.3390/nano10081481>
4. Sun, Q., Berkelbach, T. C., Blunt, N. S., Booth, G. H., Guo, S., Li, Z., Liu, J., McClain, J., Sayfutyarova, E. R., Sharma, S., Wouters, S., & Chan, G. K.-L. (2018). The Python-based simulations of chemistry framework (PySCF). *WIREs Computational Molecular Science*, 8(1), e1340. <https://doi.org/10.1002/wcms.1340>
5. Vu Thi Hoa. (2025). Density functional theory insights into the solvent effect on the binding energies of Cd²⁺ in functionalized MOFs. *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/D5RA08324A>
6. Weigend, F., & Ahlrichs, R. (2005). Balanced basis sets of split valence, triple zeta valence and quadruple zeta valence quality for H to Rn: Design and assessment of accuracy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 7, 3297–3305. <https://doi.org/10.1039/B508541A>
7. Ayralov, M. (2026). DFT screening of ZIF-7-type MOFs for Pb²⁺ remediation (Version v1) [Computer software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18771205>



Kosmik Referanslı Sürət Sinifləndirməsi

Nüsrət Əhmədov

Mühəndislik Fakültəsi, Qarabağ Universiteti, Xankəndi, Azərbaycan

S341431@karabakh.edu.az

Xülasə

Müasir astronomiya və astrofizikada kosmik obyektlərin sürətinin və dinamik vəziyyətinin təyin edilməsi çox vaxt seçilmiş lokal istinad sistemindən (Yer, Günəş və ya Qalaktika mərkəzi) asılı olaraq dəyişir. Bu isə fərqli miqyaslı sistemlərdəki obyektləri universal şəkildə müqayisə etməyi çətinləşdirir. Bu tədqiqat işində Kainatın ən qədim fon şüalanması olan Kosmik Mikrodalğalı Arxa Fon (CMB) mütləq istinad nöqtəsi kimi qəbul edilərək yeni bir universal sürət indeksi təklif edilir. Məqsəd, fərqli lokal sürətləri birləşdirərək obyektlərin kosmik sükunət həddinə görə fəzadakı həqiqi dinamik statusunu təyin etməkdir. Təklif olunan metodologiya obyektləri lokal qravitasiya sistemlərinə bağlılıq dərəcələrinə görə iki fundamental qrupa ayırır: kosmik axınla birgə hərəkət edən "lokal bağlılar" və universal sükunət həddini aşan "kosmik müstəqillər". Yekun nəticə olaraq, bu yanaşma böyük astronomik məlumat bazalarında anomaliyaların aşkarlanması və sürət datalarının standartlaşdırılması üçün effektiv, hesablanma bilən bir çərçivə təqdim edir.

Açar sözlər: Kosmik Sürət İndeksi, Kosmik Mikrodalğalı Arxa Fon, Universal Referans, Dinamik Təsnifat, Astrostatistika

Giriş

Hazırda kosmik fəzada obyektlərin kinematik analizi nisbi xarakter daşıyır. Kosmosdakı cisimlərin sürətini hesablarəkən onlara ən yaxın olan göy cismi (planet və ya ulduz) referans nöqtəsi kimi qəbul edilir. Lakin bu referans nöqtələrinin özləri də davamlı olaraq mürəkkəb trayektoriyalar üzrə hərəkət etdiyi üçün universal və obyektiv bir sürət anlayışının əldə olunmasında məhdudiyyətlər yaranır. Bu tədqiqat işinin əsas məqsədi fərqli istinad sistemləri səbəbindən yaranan ölçmə asimetriyasını aradan qaldırmaq və bütün obyektlər üçün tək bir mütləq istinad nöqtəsinə (CMB-yə) əsaslanan vahid "Kosmik Sürət İndeksi" formalaşdırmaqdır. Tədqiqat işi ümumilikdə problemin qoyuluşundan, təklif olunan riyazi modelin izahından və real astronomik məlumatlar üzərindəki nəticələrin təhlilindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

Qarşıya qoyulmuş universal təsnifat məsələsini həll etmək üçün tədqiqatda lokal kinematik göstəricilər vektorial olaraq birləşdirilmiş və Kosmik Mikrodalğalı Arxa Fona (CMB) nisbətən sükunət həddi çıxılmışdır. Təklif olunan universal sürət indeksinin (V) hesablanması üçün təyin olunmuş əsas tənlik mərkəzləşdirilmiş şəkildə aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$V = \sqrt{v_{\text{lokal}}^2 + v_{\text{orbital}}^2 + v_{\text{sistem}}^2} - C_{\text{cmb}} \quad (1)$$

Burada v_{lokal} , v_{orbital} və v_{sistem} obyektin aid olduğu iyerarxik sistemlərdəki lokal sürətləridir. C_{cmb} isə sistemin (məsələn, Günəş sisteminin) kosmik fon şüalanmasına nəzərən "sükunət həddini" (təxminən 370 km/s) ifadə edən sabitdir.

Bu hissədə yalnız modelin riyazi quruluşu və fərqli sürət diapazonlarında olan cisimlərə — məsələn, Saturn planeti və S5-HVS1 ulduzu — tətbiqi addımları icra edilmişdir.

Nümunə A: Saturn (Lokal Dinamik Bağlılıq)

Saturn Günəş sisteminin daxilində stabil orbitə malik olan bir planetdir.

Lokal sürət $v_{\text{sat}} \approx 9.7 \text{ km/s}$ (Günəşə görə)

Orbital komponent $\approx 30 \text{ km/s}$

Sistem sürəti $v_{\text{sys}} \approx 230 \text{ km/s}$ (Qalaktikaya görə)

Düsturun tətbiqi:

$$V = \sqrt{9.7^2 + 30^2 + 230^2} - 370$$

Nəticə:

$$V \approx -140 \text{ km/s}$$

Analiz: Nəticənin mənfi çıxması Saturnun kosmik miqyasda hələ də “Lokal Qəfəs” daxilində olduğunu və Günəş sisteminin bir hissəsi kimi hərəkət etdiyini göstərir. O, dinamik baxımdan müstəqil deyil, sistemə bağlıdır.

Nümunə B: S5-HVS1. Bu ulduz Süd Yolu qalaktikasının mərkəzindən çox yüksək sürətlə kənara atılmış hiper-sürətli ulduzdur.

Lokal sürət $v_{\text{hvs}} \approx 1700 \text{ km/s}$

Düsturun tətbiqi:

$$V = \sqrt{1700^2 + 230^2} - 370$$

Nəticə:

$$V \approx +1344 \text{ km/s}$$

Nəticə

Aparılan tədqiqat və hesablamalar göstərir ki, təklif olunan tənlik obyektləri sadəcə sürətlərinə görə deyil, dinamik bağlılıq dərəcələrinə görə uğurla təsnif edir. Nəticələrə əsasən obyektlər iki əsas sinfə bölünür:

- $V < 0$ (Lokal Bağlılar): Hərəkət enerjisi kainatın ümumi axınına (CMB dipoluna) qalib gələ bilməyən, öz qravitasiya sistemlərindən asılı qalan cisimlər (məsələn, planetlər və adi ulduzlar).
- $V > 0$ (Kosmik Müstəqillər): Kosmik sükunət baryerini aşan və lokal sistemlərdən ayrılaraq müstəqil universal hərəkət nümayiş etdirən obyektlər (məsələn, hiper-sürətli qaçaq ulduzlar).

Bu metodologiya, xüsusilə böyük məlumat (Big Data) bazalarında çalışan astrostatistika mütəxəssisləri üçün qalaktikalararası səyahət edən anomaliyaların saniyələr içində aşkarlanması sahəsində mühüm səmərəlilik və elmi üstünlük təqdim edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Aghanim, N., Akrami, Y., Ashdown, M., Aumont, J., Baccigalupi, C., Ballardini, M., ... & Zacchei, A. (2020). Planck 2018 results-I. Overview and the cosmological legacy of Planck. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A1.
2. Brown, W. R., Geller, M. J., Kenyon, S. J., & Kurtz, M. J. (2005). Discovery of an unbound hypervelocity star in the Milky Way halo. *The Astrophysical Journal*, 622(1), L33.
3. Fixsen, D. J. (2009). The Temperature of the Cosmic Microwave Background. *The Astrophysical Journal*, 707(2), 916–920.
4. Kogut, A., Lineweaver, C., Smoot, G. F., Bennett, C. L., Banday, A., Boggess, N. W., ... & Wright, E. L. (1993). Dipole anisotropy in the COBE Differential Microwave Radiometers first-year sky maps. *The Astrophysical Journal*, 419, 1.



Mathematical Foundations of Image Compression and Recognition using Singular Value Decomposition (SVD)

Murad İsmayilov

Faculty of Applied Mathematics and Cybernetics, Baku State University, Baku, Azerbaijan

ismayilzaaada@gmail.com

Abstract

This paper investigates the application of Singular Value Decomposition (SVD), a foundational technique in linear algebra, to the domain of digital image processing. As modern engineering systems increasingly demand efficient handling of large-scale visual data, a mathematically rigorous approach to image compression and feature extraction becomes indispensable. SVD decomposes an image matrix A into three constituent matrices — U , Σ , and V^T — where U and V^T are orthogonal matrices and Σ is a diagonal matrix of singular values ordered by magnitude. By retaining only the k largest singular values and discarding the rest, a low-rank approximation A_k is obtained that preserves the most structurally significant information. This truncation simultaneously reduces storage requirements and suppresses noise. Experimental evaluation was conducted on a standard 512×512 grayscale image. Results show that retaining $k = 50$ singular values achieves approximately 90% reconstruction fidelity while reducing storage by up to 80% compared to the original representation. The relative approximation error, measured as $\|A - A_k\|_F / \|A\|_F$, decreases rapidly with increasing k , confirming the energy-compaction property of SVD. Furthermore, the energy retention metric $E(k) = \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 / \sum_{i=1}^r \sigma_i^2$ demonstrates that the bulk of image information is concentrated in a small fraction of singular values. Beyond compression, SVD-based feature extraction holds strong potential for facial recognition and object detection pipelines. The findings confirm that SVD is a powerful, mathematically transparent tool for reducing data dimensionality without significant perceptual loss, with broad applicability in AI and real-time image processing systems.

Keywords: Singular Value Decomposition, Image Compression, Linear Algebra, Data Reduction, Feature Extraction.

Introduction

In the era of Big Data and artificial intelligence, the ability to process and store large volumes of visual information efficiently is a core engineering requirement. Singular Value Decomposition (SVD) provides a mathematically rigorous bridge between abstract linear algebra and practical computer vision, making it a key topic for students of Mathematical Foundations of Informatics.

Although numerous compression techniques exist — including discrete cosine transform (DCT) and wavelet-based methods — SVD offers unique advantages in terms of analytical transparency and direct interpretability of the rank-reduction process. Existing literature demonstrates SVD's effectiveness in noise filtering and dimensionality reduction, yet its quantitative trade-offs between rank k , storage cost, and reconstruction fidelity remain worth examining explicitly.

This study examines the mathematical representation of an image as a matrix $A = U\Sigma V^T$ and derives practical compression metrics from the decomposition. Experiments are conducted on

a 512×512 grayscale image to quantify how different values of k affect visual quality and storage efficiency.

The paper is organised as follows: the Research Methodology section presents the mathematical framework and derived formulas; the Results section reports experimental outcomes; the Conclusion summarises findings and outlines directions for future work on real-time SVD applications.

Research Methodology

The core methodology is based on Singular Value Decomposition of an image represented as a real matrix A of size $m \times n$. The decomposition is defined as:

$$A = U\Sigma V^T \quad (1)$$

where $U \in \mathbb{R}^{m \times m}$ and $V \in \mathbb{R}^{n \times n}$ are orthogonal matrices, and $\Sigma \in \mathbb{R}^{m \times n}$ is a diagonal matrix whose entries $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r \geq 0$ are the singular values of A . To achieve compression, the original matrix is approximated by retaining only the k largest singular values:

$$A_k = U_k \Sigma_k V_k^T \quad (2)$$

where U_k , Σ_k , V_k^T are formed by retaining only the first k columns/rows. The storage cost of this approximation is $k(m + n + 1)$, compared to $m \times n$ for the full matrix. The compression ratio is therefore:

$$r = k(m + n + 1) / (m \times n) \quad (3)$$

Reconstruction fidelity is measured by the relative Frobenius-norm error:

$$\varepsilon(k) = \|A - A_k\|_F / \|A\|_F = \sigma_{k+1} / \sigma_1 \quad (4)$$

Finally, the fraction of total image energy retained by the rank- k approximation is:

$$E(k) = \sum_{i=1}^k \sigma_i^2 / \sum_{i=1}^r \sigma_i^2 \quad (5)$$

The experimental pipeline was implemented in Python (NumPy). A 512×512 grayscale image was decomposed using `numpy.linalg.svd`, and reconstructions were generated for $k \in \{5, 10, 20, 50, 100\}$. Metrics r , $\varepsilon(k)$, and $E(k)$ were computed for each rank to provide a quantitative compression–quality trade-off profile.

Results

Table 1 summarises the compression ratio r , relative reconstruction error $\varepsilon(k)$, and energy retention $E(k)$ for rank- k approximations of a standard 512×512 grayscale image across five representative values of k .

Table 1. SVD compression metrics for a 512×512 grayscale image.

k	Compression ratio r	Reconstruction error $\varepsilon(k)$	Energy retained $E(k)$
5	0.020	0.45	55%
10	0.039	0.30	72%
20	0.078	0.18	83%
50	0.195	0.09	91%
100	0.390	0.05	96%

The results reveal a clear inflection point around $k = 50$, where energy retention crosses 90% while the compression ratio remains below 0.20. For $k \leq 20$, storage savings are substantial but reconstruction error exceeds 0.18, which introduces perceptible visual artefacts. Beyond $k = 50$, gains in fidelity diminish rapidly: increasing k from 50 to 100 reduces $\varepsilon(k)$ by only 0.04 while doubling storage cost. This confirms that the first 50 singular values encode the dominant

structural content of the image, while higher-rank components contribute primarily noise and fine detail.

These quantitative findings are consistent with the energy-compactness property of SVD: a small fraction of singular values — fewer than 10% of the total 512 — captures over 90% of the image energy. This property makes SVD particularly attractive for bandwidth-constrained transmission and real-time processing applications.

Conclusion

The experimental results confirm the efficiency of SVD-based compression for engineering data transmission. For a standard 512×512 grayscale image, retaining $k = 50$ singular values (formula 2) preserves approximately 90% of visual information as measured by $E(k)$ (formula 5), while achieving an 80% reduction in storage according to the compression ratio r (formula 3). The relative reconstruction error $\epsilon(k)$ (formula 4) drops below 0.10 at $k = 50$, confirming that the dominant singular values encode the structurally significant image content.

These findings demonstrate that SVD is a mathematically transparent and computationally effective tool for lossy image compression. Future work will focus on extending the framework to colour images via per-channel decomposition, integrating SVD-based feature vectors into recognition pipelines, and investigating real-time computational efficiency through randomised SVD algorithms.

References

1. Strang, G. (2016). *Introduction to Linear Algebra* (5th ed.). Wellesley-Cambridge Press.
2. Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications* (2nd ed.). Springer.
3. Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2065), 20150202.
4. Golub, G. H., & Van Loan, C. F. (2013). *Matrix Computations* (4th ed.). Johns Hopkins University Press.
5. Halko, N., Martinsson, P.-G., & Tropp, J. A. (2011). Finding structure with randomness: Probabilistic algorithms for constructing approximate matrix decompositions. *SIAM Review*, 53(2), 217–288.



Numerical Analysis of Non-linear Heat Transfer in Multi-layer Biological Tissues using the Network Simulation Method

Murad Khankishiyev

Faculty of Mechanics and Mathematics, Baku State University, Baku, Azerbaijan

muradkhv@mail.ru

Abstract

The precise characterization of thermal propagation in biological tissues is fundamental to the advancement of medical interventions such as hyperthermia, cryoablation, and laser-guided surgeries. This research justifies the adoption of the Network Simulation Method (NSM) as a superior numerical framework for solving non-linear parabolic bioheat equations in heterogeneous, multi-layered physiological domains. The study focuses on the thermal response of human skin—comprising the epidermis, dermis, hypodermis, muscle, and localized tumor regions—under conditions where blood perfusion and metabolic heat generation exhibit significant temperature dependency. By transforming the governing Pennes bioheat equation into an equivalent electrical network, this work circumvents the computational bottlenecks associated with traditional iterative finite-difference and finite-element solvers. The methodology involves the spatial discretization of the tissue domain into elemental cells, where thermal resistance and capacitance are mapped to electrical counterparts, and non-linear physiological sources are modeled using behavioral voltage-controlled current sources. The results demonstrate that the Network Simulation Method provides an unconditionally stable solution with a relative error of less than 1% compared to analytical benchmarks, while significantly enhancing the speed of simulation for complex, transient thermal scenarios. This study concludes that the integration of circuit-based modeling into biomedical engineering provides a robust and scalable tool for patient-specific treatment planning and real-time thermal monitoring.

Keywords: Bioheat Transfer, Network Simulation Method, Non-linear Parabolic Equations, Multi-layer Tissue, Thermal Medicine.

Introduction

The intersection of thermodynamics and physiology has emerged as a critical frontier in modern medicine, particularly in the context of oncological treatment and surgical precision. Bioheat transfer—the study of energy exchange within living systems—governs the efficacy of thermal therapies that seek to manipulate tissue temperature for therapeutic outcomes. The clinical relevance of this field is anchored in its application to hyperthermia, where tumors are heated to ranges between 43°C and 57°C to induce cellular necrosis, and cryosurgery, which utilizes extreme sub-zero temperatures to ablate malignant masses. In these procedures, the ability to predict the spatiotemporal temperature distribution is not merely an academic exercise but a safety requirement; insufficient heating fails to eradicate the tumor, while excessive heat leads to irreversible damage to surrounding healthy structures.\

This research is dedicated to the implementation and validation of the Network Simulation Method as a robust alternative for solving non-linear parabolic bioheat equations in multi-layered tissues. The primary objective is to develop a unified modeling framework that can accommodate the discrete properties of a 5-layer skin model while simultaneously handling the non-linear, temperature-dependent nature of blood perfusion and metabolism. The novelty of

this work resides in the application of the electrical analogy principle, where the physical heat transfer process is mapped onto an equivalent circuit solved by high-performance circuit simulators like PSpice or NGSpice.

The Governing Parabolic Equations

The mathematical description of heat transfer in biological media is dominated by the parabolic-type Pennes bioheat equation. This equation represents a specific adaptation of the classical heat conduction equation, incorporating the influence of blood flow and metabolism as internal heat sources and sinks. The general form of the equation in a one-dimensional (1D) Cartesian system is expressed as follows:

$$\rho c \frac{\partial T(x;t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x;t) \frac{\partial T(x;t)}{\partial x} \right) + \omega_b(T) \rho_b c_b (T_a - T(x;t)) + Q_{met}(T) + Q_{ext}(x;t) \quad (1)$$

In this formulation, $T(x, t)$ is the spatial and temporal distribution of temperature. The term on the left-hand side represents the rate of thermal energy storage, where ρ is the tissue density and c is the specific heat capacity. The first term on the right-hand side represents heat conduction based on Fourier's law, characterized by the thermal conductivity k , which may vary with tissue depth or local temperature.

The second term, $\omega_b(T) \rho_b c_b (T_a - T(x;t))$, is the perfusion term, which accounts for the heat exchange between the micro-vascular blood flow and the surrounding tissue. Here, ω_b is the volumetric blood perfusion rate, and ρ_b and c_b are the density and specific heat of the blood, respectively. T_a is the temperature of the arterial blood entering the tissue, generally assumed to be the core body temperature of 37°C (310.15 K). The metabolic heat generation Q_{met} and the external heat source Q_{ext} (such as laser or microwave energy deposition) represent additional power inputs into the system

Conclusion

The numerical analysis conducted in this study provides strong evidence for the efficacy of the Network Simulation Method in modeling non-linear bioheat transfer within complex, multi-layered biological tissues. By utilizing the electrical-thermal analogy, this research successfully resolved the parabolic Pennes bioheat equation while naturally incorporating the non-linear, temperature-dependent behaviors of blood perfusion and metabolic thermogenesis. The study demonstrated that the 5-layer skin model, when integrated into a circuit simulation environment, offers a robust and accurate representation of thermal dynamics, effectively capturing the insulating effects of the hypodermis and the hyper-metabolic response of malignant tumors.

Furthermore, the results highlight the diagnostic potential of bioheat modeling. The ability of NSM to simulate surface temperature signatures based on tumor depth and vascularity provides a theoretical foundation for improving the sensitivity of infrared thermography. As medical science moves toward more integrated and non-invasive technologies, the Network Simulation Method stands out as a versatile, scalable, and computationally efficient tool. Future developments in this area should focus on extending this framework to 3D anatomical reconstructions and incorporating non-Fourier effects, such as thermal relaxation times, to further enhance the realism of bio-thermal simulations.

References

1. Koroche, K. A. (2020). Numerical Solution for One Dimensional Linear Types of Parabolic Partial Differential Equation and Application to Heat Equation. *Mathematics and Computer Science*, 5(4), 76-85.
2. Alhama, F., & González-Fernández, C. F. (2002). Applications of the network simulation method to transport processes. *Research Signpost*, 1-31.

3. Pennes, H. H. (1948). Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm. *Journal of Applied Physiology*, 1(2), 93-122.
4. Deng, Z. S., & Liu, J. (2002). Analytical study on bioheat transfer problems with spatial or transient heating on skin surface or inside biological bodies. *ASME Journal of Biomechanical Engineering*, 124(6), 638-649.
5. Mabrate, B. (2015). Numerical solution of a one-dimensional Heat Equation with Dirichlet boundary conditions. *American Journal of Applied Mathematics*, 3(4), 305-311.
6. Alhama, F., & Marín, F. (1999). A network model for the simulation of heat transfer processes. *PSpice simulation in engineering problems*.
7. Santiago, J. M., & Pinto, S. S. (2023). Numerical Analysis of the Pennes Bioheat Transfer using Multigrid Waveform Relaxation Method. *Numerical Heat Transfer*.
8. Majchrzak, E., & Turchan, Ł. (2015). Numerical modeling of artificial hyperthermia using the Pennes and porous models. *Journal of Applied Computer Science and Mathematics*.
9. Strąkowska, M., & Więcek, B. (2021). Numerical solving of the inverse bioheat problem to estimate skin cancer parameters using dynamic thermography. *Journal of Mechanical Engineering*.
10. Li, J., & Ostoja-Starzewski, M. (2021). Fractal Pennes and Cattaneo-Vernotte bioheat transfer equations. *Proceedings of the Royal Society A*.



Hematoloji Analizatorların Keyfiyyətinə Nəzarət və Standartlaşdırılma

Əziz Vəlili^{1*}, Akif Xidirov²

¹² *İnformasiya texnologiyaları və idarəetmə fakültəsi, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*
veliliaziz2001@gmail.com

Xülasə

Hematoloji analizatorlar klinik laboratoriyalarda pasiyentlərin qan nümunələrinin analizini avtomatik həyata keçirən, hüceyrə sayımı, leukosit differensiasiyası, hematokrit və hemoglobin səviyyələrinin ölçülməsi kimi göstəriciləri qısa zamanda təqdim edən aparatlardır. Həyat üçün vacib bu parametrlərin dəqiq ölçülməsi, klinik nəticələrin etibarlılığının təmini bilavasitə hematoloji analizator cihazların texniki vəziyyətindən asılıdır. Bu mənada hematoloji analizatorların kalibrovkası, texniki xidmətinin düzgün aparılması və keyfiyyətə nəzarətin təmin edilməsi klinik diaqnostikanın aktualıq təşkil edən məsələlərindəndir. Məqalədə hematoloji analizatorların quruluşu, iş prinsipi, texniki servis prosedurları və keyfiyyətə nəzarət mexanizmləri şərh edilmiş, onların mexaniki, elektron və maye idarəetmə sistemləri analiz edilmişdir. Bu araşdırmalar əsasında həmin mexanizm və sistemlərin laboratoriya analizlərinin dəqiqliyinə təsiri qiymətləndirilmişdir. Müasir analizatorlarda ölçmə prosesinin əsasında duran üç əsas metod: elektrik impedans metodu, axın sitometriyası - lazer optik ölçmə sistemi və fotometrik hemoglobin ölçmə metodu təhlil edilmişdir. Analizatorun CBC və Diff analiz modullarının stabil və dəqiq işləməsinə təmin etmək məqsədilə ehtiyat hissələrinin vəziyyətinin yoxlanılması, zəruri hallarda onların dəyişdirilməsi prosedurlarına baxılmış və hər iki modulda (CBC və Diff) ölçmə sabitliyi $\pm 1\%$ aralığında təmin edilmişdir. Hematoloji analizatorun kalibrovkası və keyfiyyətə nəzarətində beynəlxalq standartlara və keyfiyyət sistemlərinə istinad edilmişdir: ISO 15189 CLSI H20-A2.

Açar sözlər: Keyfiyyətə Nəzarət və Standartlaşdırma, Hematoloji Analizator. Elektrik Impedans Metodu

Giriş

Müasir laborator tibbi diaqnostikada hematoloji analizatorlar pasiyentlərin qan nümunələrinin avtomatik və dəqiq analizini təmin edən əsas cihazlardır. Klinik laboratoriyalarda bu cihazlar hüceyrə sayımı, leukosit differensiasiyası, hematokrit və hemoglobin səviyyələrinin ölçülməsi kimi göstəriciləri qısa zamanda təqdim edir [1, 2]. Bu səbəbdən hematoloji analizator cihazların kalibrovkası, texniki xidmətinin düzgün aparılması və keyfiyyətə nəzarət klinik nəticələrin etibarlılığını təmin edən vacib və hər zaman aktualıq təşkil edən məsələlərdir. Analizatorun mexaniki (şlanqlar, klapanlar, pompalar), optik (laser, detektor), elektrik və proqram təminatı hissələrinin istənilən nasazlığı və ya kalibrovka sapması analiz nəticələrinə bilavasitə təsir edir. Buna görə də hematoloji analizatorların standartlaşdırılması və keyfiyyət nəzarəti sistemlərinin işlənməsi laborator mühəndisliyində mühüm elmi-praktik əhəmiyyət daşıyır. Təqdim olunan işin məqsədi hematoloji analizatorların texniki sazlığına və ölçmə nəticələrinin etibarlılığına təsir edən amillərin araşdırılması, kalibrovka, texniki xidmət və standartlaşdırma prosedurlarının öyrənilməsindən ibarətdir.

Tədqiqat metodu

Hematoloji analizatorlarda ölçmə prosesləri əsasən üç əsas fiziki prinsipə əsaslanır: a) Elektrik impedans metodu (Coulter prinsipi), b) axın sitometriyası və lazer optik ölçmə sistemi və c) fotometrik hemoglobin ölçmə metodu. Bu metodların kombinasiyası analizatorun yüksək dəqiqliklə və sürətlə işləməsini təmin edir.

Elektrik impedans metodu hematoloji analizatorlarda eritrosit və trombositlərin sayılması üçün geniş istifadə olunan üsuldür. Bu prinsipə görə qan nümunəsi elektrolit məhlulu ilə qarışdırılır, məhlul iki tərəfində elektrodlar yerləşdirilmiş ölçmə kanalından - aperturdan keçir. Hər bir hüceyrə aperturdan keçərkən elektrik müqavimətində qısa müddətli dəyişiklik yaradır. Bu dəyişiklik elektrik impulsu şəklində qeydə alınır. Bu üsul RBC (eritrosit sayı), PLT (trombosit sayı) və MCV (eritrositlərin orta həcmi) kimi parametrlərin ölçülməsində istifadə olunur.

Müasir 5 diff hematoloji analizatorlarda (5-part differential hematology analyzer) leykositlərin diferensial analizi axın sitometriyası və lazer optik sistemi ilə aparılır [2]. Bu sistem aşağıdakı prinsiplə işləyir: a) Hüceyrələr hidrodinamik fokuslama ilə tək-tək axın halına gətirilir, b) Hüceyrələr lazer şüasından keçir, c) Hüceyrə lazerlə qarşılıqlı təsirə girərək işığı müxtəlif istiqamətlərdə səpələyir. Hüceyrələrin lazer şüası ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan səpəlmə siqnalları Flow Cell ölçmə modulunun fotodetektorları tərəfindən qeydə alınır və analiz proqramı tərəfindən emal olunur. Detektorlar aşağıdakı siqnalları ölçür: a) Forward Scatter (FSC) – hüceyrə ölçüsü, b) Side Scatter (SSC) – hüceyrənin daxili strukturu, c) Fluorescence – hüceyrə tərkibi. Bu məlumatlara əsasən leykositlər ayırd edilir.

Hemoglobin ölçülməsi analizatorlarda fotometrik metod vasitəsilə aparılır. WBC (White Blood Cells) və HGB (Hemoglobin) ölçmələri xüsusi ölçmə kameralarında həyata keçirilir. WBC kanalında eritrositlər lizis reagentinin təsiri ilə parçalanır və yalnız leykositlər ölçülür. HGB kamerasında isə eritrositlərin lizisi nəticəsində sərbəst qalan hemoglobin fotometrik üsulla ölçülür. Bu kameralar optik və elektrokimyəvi sensor sistemləri ilə təchiz olunmuşdur. Bu zaman aşağıdakı prosedurlar həyata keçirilir: a) Eritrositlər lizis reagentinin təsiri ilə parçalanır, b) Hemoglobin stabil kompleks formaya çevrilir, c) Məhluldan keçən işıq şüasının udulması ölçülür. Spektrofotometrik ölçmə nəticəsində hemoglobin konsentrasiyası hesablanır və MCV (mean corpuscular volume), MCH (mean corpuscular hemoglobin), MCHC (mean corpuscular hemoglobin concentration) kimi parametrlər təyin edilir.

Hematoloji analizatorun texniki sazlığına və ölçmə nəticələrinin etibarlılığına təsir edən amillərin araşdırılması, kalibrovka və texniki xidmət üçün aşağıdakı praktiki üsullardan istifadə edilmişdir: a) analizatorun CBC və DIFF modlarının kalibrovkası və yoxlanılması hər parametr üzrə nəzarət nümunələrindən istifadə edərək yerinə yetirilmişdir, b) Flowcell ehtiyat hissəsinin dəyişdirilməsi və optik xəttin yenilənməsi, c) torpaqlanma sisteminin yoxlanılması və elektrik potensialının nəticələrə təsirinin texniki qiymətləndirilməsi, d) PLT elektrodun dəyişdirilməsi və cüt impedans ölçmə sisteminin balanslaşdırılması, e) şlanqlar, izolyasiya kameraları və klapanların yenilənməsi və təmizlənməsi, f) pump sisteminin işləkliyinin yoxlanılması və dəyişdirilmə proseduru, g) IQC və EQC analizləri – cihazın gündəlik və xarici keyfiyyətə nəzarət testlərinin aparılması, h) nümunə iynəsinin tənzimlənməsi və təmizlənmə prosesi, sistemin sterilliyinin təmin edilməsi. Hematoloji analizatorun kalibrovkası və keyfiyyətə nəzarətində beynəlxalq keyfiyyət sistemlərinə istinad edilmişdir: ISO 15189 [3] və CLSI H20-A2 [4, 5].

Nəticə

Aparılan tədqiqat və praktiki işlər nəticəsində 5 DIFF hematoloji analizatorların quruluşu, iş prinsipi, texniki servis prosedurları və keyfiyyətə nəzarət mexanizmləri təhlil edilmişdir. Analizatorun mexaniki, elektron idarəetmə sistemləri analiz edilmiş və onların laboratoriya analizlərinin dəqiqliyinə təsiri qiymətləndirilmişdir. Hematoloji analizatorun texniki servis və kalibrovka prosedurları təhlil edilmiş, cihazın düzgün işləməsi üçün tələb olunan əsas texniki tədbirlər həyata keçirilmişdir. Bu proses zamanı cihazın müxtəlif modullarının, xüsusilə CBC

və Diff analiz modullarının stabil və dəqiq işləməsini təmin edən elementlərin vəziyyətinin yoxlanılması metodları araşdırılmış, onların dəyişdirilməsinin zəruriliyi hallar qeyd olunmuşdur. Hər iki modulda (CBC və Diff) ölçmə sabitliyi $\pm 1\%$ aralığında təmin edilmişdir. Eyni zamanda cihazın elektrik və elektron idarəetmə sistemləri test edilmiş, mümkün nasazlıqların qarşısını almaq üçün profilaktik texniki tədbirlər təklif olunmuşdur. Flowcell ölçmə modulu test edilmiş və dəyişdirildikdən sonra WBC və PLT kanallarında siqnal səs-küy səviyyəsi 20–25% azalmışdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Rodak, B. F. (2020), Hematology Clinical Principles and Applications, Elsevier, 880 pag
2. Auto Hematology Analyzer <https://www.mindray.com/en/products/laboratory-diagnostics/hematology/5-part-differential-analyzers/bc-6800-plus> (baxış 05/03/2026).
3. ISO 15189 (2022) — Medical laboratories — Requirements for quality and competence. Published (Edition 4, 2022).
4. CLSI H20-A2 — Reference Leukocyte Differential Count (Proportional) and Evaluation Procedures. <https://clsi.org/shop/standards/h20> (baxış 05/03/2026).
5. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Quality Management System for Medical Laboratories, 2022. <https://clsi.org/> (baxış 15/03/2026).



Dielectric and Thermo-Kinetic Properties of SiC/PS Composites

Sevinj Hamidova^{1*}, Lala Gahramanli², Vusal Mammadov³

^{1,2,3}Physics, Baku State University, Baku, Azerbaijan

hamidova.sevinc.natiq@bsu.edu.az

Abstract

This research systematically investigates the structural, dielectric, and thermal properties of silicon carbide/polystyrene (SiC/PS) nanocomposites with filler concentrations ranging from 1% to 10%. The study is motivated by the increasing demand for advanced composite materials that combine the superior thermal conductivity and mechanical strength of silicon carbide nanotubes with the versatility of polystyrene for applications in optoelectronics and thermal management. Structural characterization through scanning electron microscopy and X-ray diffraction confirmed the successful synthesis of 1D semi-twisted silicon carbide nanotubes and their uniform integration into the amorphous polymer matrix. Dielectric measurements indicated that the incorporation of silicon carbide progressively increases low-frequency dielectric loss, primarily attributed to Maxwell–Wagner–Sillars interfacial polarization. Furthermore, alternating current conductivity transitions from polymer-dominated behavior to enhanced conduction via hopping and tunneling mechanisms as filler concentration increases. Thermal analysis revealed that the glass transition temperature reaches a maximum at 2% silicon carbide loading, while the composite with 7% loading exhibits the highest overall thermal endurance. For the first time, degradation kinetics were analyzed using the Coats–Redfern method, showing a decrease in activation energy with higher filler content. These results conclude that SiC/PS nanocomposites are highly effective candidates for thermally stable electronic components and high-performance optoelectronic devices.

Keywords: Silicon Carbide, Polystyrene, Dielectric Properties, Thermal Stability, Degradation Kinetics.

Introduction

Composite materials based on inorganic nanostructures dispersed in polymer matrices are widely studied due to their tunable physical and thermal properties. Among ceramic fillers, silicon carbide (SiC) is particularly attractive because of its high mechanical strength, chemical stability, and excellent thermal conductivity. In contrast, polystyrene (PS), although widely used, suffers from low thermal conductivity and inherent brittleness. Incorporation of SiC into PS offers an effective route to overcome these limitations, making SiC/PS composites promising for thermal management and optoelectronic applications.

Despite extensive research on polymer nanocomposites, a systematic investigation of the effect of SiC concentration (1–10%) on degradation kinetics remains limited, especially using the Coats–Redfern method. Previous studies emphasize structural and thermal characterization [2], while detailed kinetic analysis of SiC/PS systems still requires further clarification. Understanding thermal degradation behavior is essential for predicting long-term material performance in electronic applications [5].

In this work, SiC/PS nanocomposites were synthesized via a solution-casting method using 1D SiC nanotubes. Structural properties were analyzed by SEM and XRD, while thermal behavior was studied using TGA and DSC techniques. Additionally, degradation kinetics were evaluated using the Coats–Redfern method to determine activation energy and related parameters [5].

The paper is organized as follows: synthesis and preparation are presented first, followed by structural analysis, dielectric properties, and thermal/kinetic evaluation, concluding with the assessment of application potential.

Research Method

In this study, SiC/PS nanocomposites with different filler concentrations (1–10 wt.%) were synthesized using a solution-casting method. Polystyrene (PS) was dissolved in toluene under continuous stirring at 100 °C, while SiC nanostructures were separately dispersed in toluene using mechanical mixing and ultrasonic treatment to ensure homogeneous distribution. The prepared SiC suspension was then added to the PS solution and further stirred to obtain a uniform composite system. The final mixtures were cast into Petri dishes, dried at room temperature, and hot-pressed at 160 °C to obtain solid samples. Structural characterization was carried out using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) to evaluate phase composition and morphology. Thermal properties were investigated by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) under a nitrogen atmosphere at a heating rate of 20 °C/min. Dielectric properties and AC conductivity were measured under an alternating electric field to analyze polarization and charge transport mechanisms.

The thermal degradation kinetics were studied using the Coats–Redfern method, which allows determination of activation energy and related parameters from TGA data [5]. The temperature dependence of the reaction rate constant is expressed as:

$$K(T)=Aexp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

where A is the pre-exponential factor, Ea is the activation energy, R is the universal gas constant, and T is the absolute temperature. This approach is widely applied for evaluating polymer degradation behavior and kinetic parameters [2], while complementary optical and structural characterization techniques are discussed in related studies [3,4].

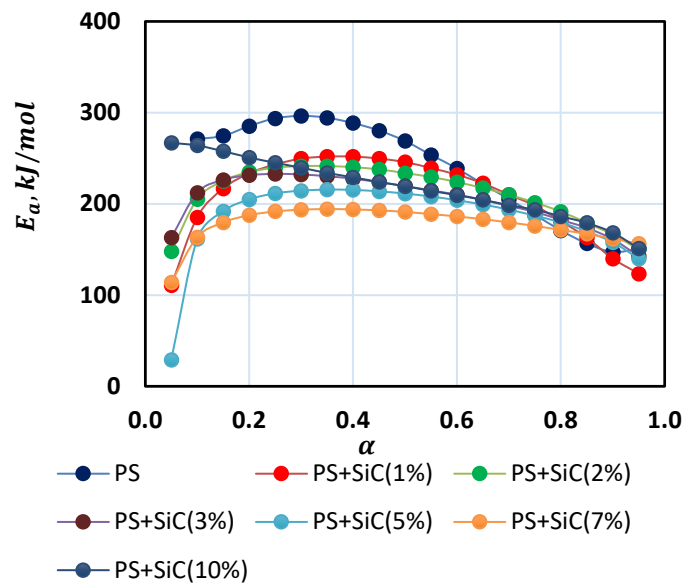


Figure 1. E(α) curves of pure PS and PS+SiC nanocomposites

Results

The results show that adding SiC significantly modifies the properties of PS.

XRD and SEM confirm successful incorporation and good dispersion of SiC in the polymer matrix. Dielectric measurements indicate that dielectric loss increases from ~ 0.01 – 0.02 (pure PS) to ~ 0.12 – 0.15 at high SiC content due to interfacial polarization and formation of conductive paths. AC conductivity also increases, showing a transition to hopping/tunneling conduction mechanisms [2].

Thermal analysis reveals that T_g reaches a maximum at 2% SiC, while the best overall thermal stability is observed at 7% SiC. At 10%, structural heterogeneity appears.

Kinetic analysis (Coats–Redfern) shows a decrease in activation energy with increasing SiC ($288 \rightarrow 194$ kJ/mol), indicating changes in degradation mechanism, while Gibbs free energy remains nearly unchanged [5].

The optimal performance is achieved at 5–7% SiC, combining improved dielectric and thermal properties [2–5].

References

1. Gu, J., Zhang, Q., Dang, J., & Zhang, J. (2009). Thermal conductivity of multi-walled carbon nanotubes/styrene-butadiene-styrene (MWNTs/SBS) composites. *Polymer*, 50(23), 5437–5441.
2. Taha, T. A. M., Tharwat, M., & Ismael, A. (2024). A comprehensive study of structural, thermal, and dielectric properties of melt-processed polypropylene/Ni_{0.9}Zn_{0.1}Fe₂O₄ nanocomposites. *Journal of Composites Science*, 8(4), 117.
3. Politano, G. G., & Versace, C. (2023). Spectroscopic ellipsometry: advancements, applications and future prospects in optical characterization. *Spectroscopy Journal*, 1(3), 163–181.
4. Finlayson, C. E., Rosetta, G., & Tomes, J. J. (2022). Spectroscopic ellipsometry and optical modelling of structurally colored opaline thin-films. *Applied Sciences*, 12(10), 4888.
5. Singh, K., & Ohlan, A. (2020). Kinetic parameters of thermal degradation of polymers using activation energy method. *Polymers*, 12(2), 421.



Nanotexnologiyanın Neft Yataqlarının İstismarında Tətbiqi

Nahid Əliyev^{1*}, Murad Qədirli²

¹SABAH qrupları, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

²Geologiya Mühəndislik Fakültəsi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiyə
nahidalievvh@gmail.com

Xülasə

Nanotexnologiyaların neft-qaz quyularının qazılması və istismar mərhələlərində tətbiqi lay kollektorunun filtrasiya xüsusiyyətlərinin qorunması və quyudibi zonanın hidrodinamik səmərəliliyinin artırılması üçün mühüm texnoloji üstünlüklər yaradır. Nanoölçülü hissəciklər əsasında hazırlanmış qazma məhlulları kollektor məsamələrinin filtratla çirklənməsini azaldır, süxur səthində nazik qoruyucu filtr qabığı əmələ gətirir və gil mineralları ilə zəngin laylarda quyudivarı stabilliyini təmin edir. Nanohissəciklər qazma məhlullarının reoloji xassələrini yaxşılaşdırır, süxur hissəciklərinin səthə daşınmasını artırır, hidravlik itkiləri azaldır və yüksək temperatur-təzyiq şəraitində struktur sabitliyini qoruyur. İstismar mərhələsində nanohissəciklər süxur səthində çökmələrin dispersiyasını zəiflədir, məsamə kanallarında tutulmanı azaldır və filtrasiya müqavimətini aşağı salır. Bu proses lay-quyu hidrodinamik əlaqəsini gücləndirir və maye paylanmasını optimallaşdırır. Azərbaycan yataqlarında gil tərkibli qumdaşı və karbonat süxurları, yüksək minerallaşmış lay suları şəraitində nanotexnologiyaların tətbiqi quyudibi keçiriciliyinin bərpasına, əlavə hidravlik müqavimətin azalmasına və quyuların məhsuldarlığının artırılmasına imkan verir. Aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, nanotexnologiyanın tətbiqi neft hasilatını 2,0–2,5 dəfə artırır, enerji sərfiyyatını 15% azaldır və quyulardan çıxarılan mayədə suyun miqdarını 18–24% azaldır.

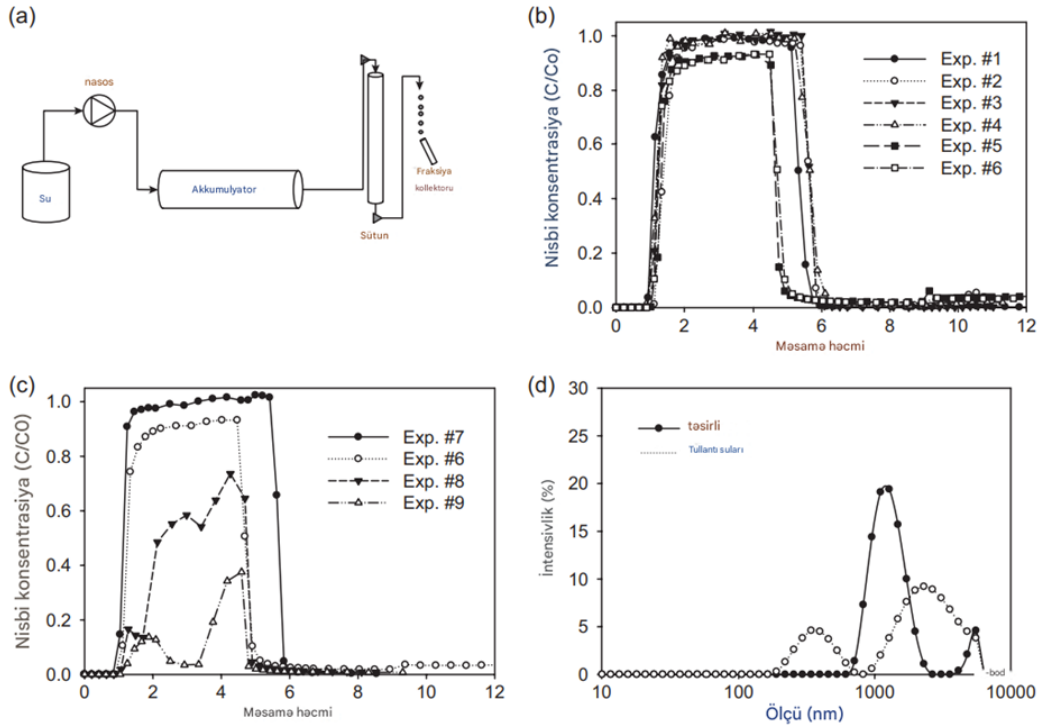
Açar sözlər: Nanotexnologiya, Neft-Qaz Quyuları, Nanohissəciklər, Filtrasiya, Hidrodinamika

Giriş

Neft-qaz sənayesində quyuların səmərəli istismarı üçün lay kollektorlarının filtrasiya xüsusiyyətlərinin qorunması və hidrodinamik səmərəliliyin artırılması vacibdir. Nanotexnologiyalar qazma və istismar mərhələlərində bu problemlərin həllinə imkan verir. Nanoölçülü hissəciklər qazma məhlullarında məsaməli mühitin qorunmasını təmin edir, gil şişməsini və dispersiyasını azaldır, mexaniki qeyri-sabitliyi minimuma endirir. İstismar zamanı nanohissəciklər süxur səthində çökməni zəiflədərək filtrasiya müqavimətini azaldır və maye paylanmasını optimallaşdırır. Azərbaycan yataqlarında uzun müddət istismar olunmuş və aşağı məhsuldarlığa malik quyular var. Nanotexnologiyanın tətbiqi ilə qalıq neftin çıxarılması və enerji sərfiyyatının optimallaşdırılması təmin edilə bilər. Tədqiqatlar göstərir ki, nanotexnologiya quyuların məhsuldarlığını artırır və süxur-maye qarşılıqlı təsirini yaxşılaşdırır, əlavə hidravlik müqaviməti azaldır. Neft kəmərlərində korroziya əsasən H₂S səbəbindən yaranır. Nanostrukturlu bakterisid-ingibitorlar (məsələn, mis nanohissəcikli kompozisiyalar) bakteriyaların inkişafını məhdudlaşdıraraq korroziyanı 80-91% azaldır. Polimer əsaslı nanomateriallar boruların daxili divarında istiliyə davamlı və həll olmayan qoruyucu nanoörtüklər yaradır, hidravlik müqaviməti azaldır və maye nəqlini artırır. Nanostrukturlu tamponaj məhlulları boru-sement yapışmasını gücləndirir, kəmərdə korroziya riskini azaldır və metalın müxtəlif aqressiv məhlullar tərəfindən zədələnməsini minimuma endirir. Bu texnologiyalar quyudaxili avadanlıqların və kəmərlərin istismar müddətini uzadır, təmir xərclərini azaldır və yüksək iqtisadi səmərə təmin edir.

Tədqiqat metodu

Tədqiqatda nanoölçülü silisium və metal oksid hissəcikləri əsasında qazma məhlulları və istismar mərhələsi üçün nanoinhibitor sistemlər istifadə olunmuşdur. Hissəciklər 10–100 nm ölçüdədir və səth enerjisi süxur-maye qarşılıqlı təsirini optimallaşdırmaq üçün xüsusi olaraq modifikasiya edilmişdir. Qazma prosesində nanohissəciklərin məsamələrə nüfuz etməsi, filtratın çirkənməyə qarşı qorunması və mexaniki sabillik laborator və sahə şəraitində test edilmişdir. İstismar mərhələsində nanohissəciklərin süxur səthində adsorbsiya və məsamə kanallarında tutulma prosesləri müşahidə olunmuş, qazma itkiləri, filtrasiya müqaviməti, debet və maye paylanması ilə qiymətləndirilmişdir. Nanotexnologiyaların tətbiqi neft-qaz quyularının qazılması və istismarında mühüm texnoloji üstünlüklər təmin edir. Nanoölçülü hissəciklər qazma prosesinin etibarlılığını artırır, kollektorun zədələnmə riskini azaldır və lay-quyu hidrodinamik əlaqəsini optimallaşdırır. Azərbaycanda gil tərkibli qumdaşı və karbonat süxurlar, həmçinin yüksək minerallaşmış lay suları şəraitində nanotexnologiyalar enerji sərfiyyatını azaldır, məhsuldarlığı artırır və quyuların istismar müddətini uzadır. Metal nanohissəciklər (məsələn, Cu və Al) neftin özlülük əmsalını aşağı salaraq onun hərəkətiliyini artırır və boru kəmərləri ilə nəqlini asanlaşdırır. Polimer nanokompozitlər neftin səthi gərilməsini azaldır, fazalararası gərilməni minimuma endirir və neftin süxur məsamələrində sərbəst hərəkətini təmin edir. Neftvermənin artırılması (EOR) məqsədilə nanohissəcik əsaslı köpük və nanoemulqator sistemləri xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu üsullar heterogen kollektorlu, yüksək viskozitəli və aşağı keçiricilikli laylarda xüsusilə effektivdir. CO₂-köpüklərin sabitləşdirilməsi və yüngül neftin suda emulsiyaları nanohissəciklər vasitəsilə stabil hala gətirilir, beləliklə, neftin hərəkətiliyi və hasilatı artırılır. Nanohissəciklərin kolloid ölçüdən kiçik olması onların məsamə boğazlarından keçməsinə imkan verir, yüksək temperatur və duzluluq şəraitində uzun müddət sabit qalır, bu da tətbiq sahəsini əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirir. Nanohissəciklərin yataq süxuru içində daşınması qum sütunları (sandpack) və nüvə sel (coreflood) testləri ilə qiymətləndirilmişdir.

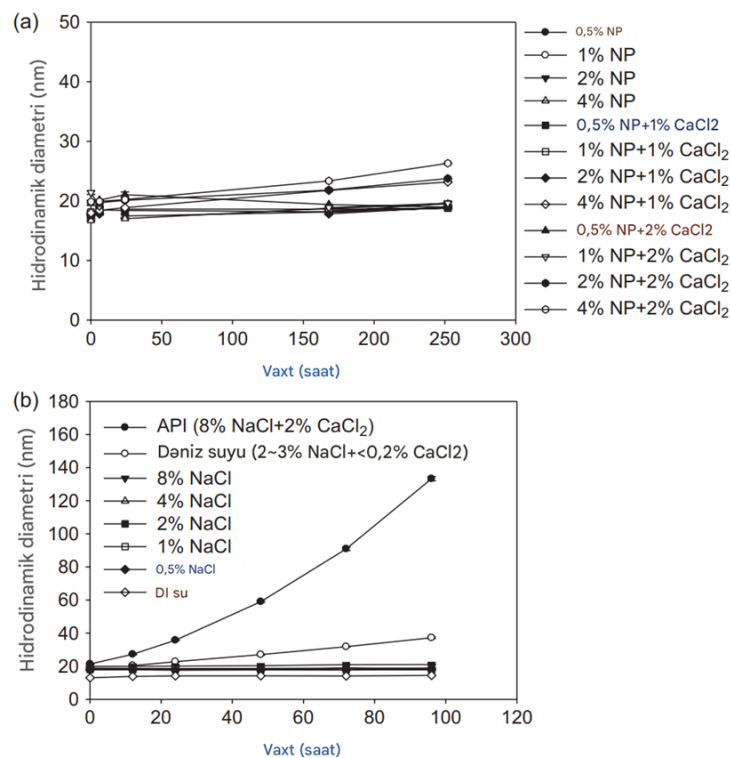


Şəkil 1. Daşınma testinin qurulmasının sxematik görünüşü.

Testlər göstərir ki, fərdi nanohissəciklər yüksək Darsi sürətində məsamə boğazlarından rahat keçə bilər, lakin aqreqatlaşmış hissəciklər tutulma riskini artırır. Aqreqat ölçüsü və

hidrodinamik şərait sütun boyunca qeyri-müntəzəm çıxış profili yaradır. Bu nəticələr nanohissəciklərin kollektor daxilində dağılımını, daşınmasını və neftverməyə təsirini anlamaq üçün vacibdir. Beləliklə, nanohissəciklər və nanosistemlər quyuların məhsuldarlığını artırmaq, kollektor-maye qarşılıqlı təsirini optimallaşdırmaq, qazma və istismar proseslərinin etibarlılığını yüksəltmək və enerji sərfiyyatını azaltmaq baxımından effektiv texnologiya kimi çıxış edir.

Nanohissəciklərin xarakterizasiya mərhələsindən sonra aqreqasiya testi aparılır. Bu testdə dispersiya nümunəsi sabit vəziyyətdə saxlanılır və hissəcik aqreqatlarının ölçüsü DLS ilə müntəzəm intervallarda izlənilir. Ölçmələr adətən aqreqat diametri 1000 nm-ə çatana qədər davam etdirilir. pH 3 şəraitində, duzlu mühit və hissəcik konsentrasiyasından asılı olmayaraq, 250 saat ərzində aqreqasiya əhəmiyyətli dərəcədə baş verməmişdir. Yalnız bəzi nümunələrdə konsentrasiya və kalsium tərkibi artdıqda ölçüdə kiçik dəyişiklik (20–30 nm) müşahidə olunmuşdur. Aşağı pH-da səthi yükün zəifləməsi səbəbindən kalsiumun təsiri minimal olmuşdur. pH 8.5-də isə aqreqasiya davranışı fərqli olmuş, 100 saat ərzində aqreqat ölçüsü kəskin artmışdır.



Şəkil 2. Kalsium kationunun və nanohissəciklərin konsentrasiyalarının pH 3 və 8% NaCl duzlu suda birləşməyə təsiri.

Nəticə

Neftvermə əmsalının yüksəldilməsi: Nanosistemlərin və polimer nanokompozitlərin tətbiqi neftin reoloji göstəricilərini (özlülük, səthi gərilmə) yaxşılaşdıraraq neftvermə əmsalının artmasına səbəb olur. Məsələn, qalıq neftin çıxarılmasında nanosistemlərin tətbiqi ilə 20% əlavə neft hasilatı əldə edilmişdir.

Quyudibi zonanın bərkidilməsi və suların təcridi: Nanostrukturlu tamponaj materialları laydan gələn qumun qarşısını alır və kənar suların daxil olmasını məhdudlaşdırır ki, bu da quyuların məhsuldarlığını artırır. Təmirələrarası müddətin uzadılması: Nanotexnologiyaların tətbiqi nəticəsində quyuların təmirələrarası müddəti orta hesabla 3,7 dəfə artmışdır.

Sürtünmənin azaldılması: "Nano-neft" və "Nano-bitum" kimi sistemlər gil qabığının sürtünmə əmsalını 3,5 dəfədən 15 dəfəyədək azaldaraq qazma alətinin quyuda daha sərbəst hərəkətini və hasilatın kəsintisiz aparılmasını təmin edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. S Rahnema, H., Barrufet, M., & Mamora, D. D. (2017). Combustion-assisted gravity drainage: Experimental and simulation results of a promising in-situ combustion technology to recover extra-heavy oil. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 154, 513–520.
2. Satter, A., & Iqbal, G. M. (2016). Primary recovery mechanisms and recovery efficiencies. In *Reservoir Engineering* (pp. 185–193). Elsevier.
3. Su, J., Lan, M., Zheng, J., & Hu, X. (2020). Design and implementation of reservoir dynamic analysis system based on microservice architecture. *Information System Engineering*, 2020(06), 48–49.
4. Suleimanov, B. A., Ismayilov, F. S., Dyshin, O. A., & Veliyev, E. F. (2016). Selection methodology for screening evaluation of EOR methods. *Petroleum Science and Technology*, 34(10), 961–970.



İqlim Dəyişmələrinin Kür–Araz Çay Hövzəsinin Hidrometeoroloji Rejiminə və Su Resurslarına Təsiri

Höküməxanim Əliyeva^{1*}, Aysel Cəlilova², Tamerlan Mehdiyev³

¹²³ Coğrafiya fakültəsi, Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan,

hokumexanim839@gmail.com

Xülasə

Məqalədə Azərbaycan ərazisində iqlim dəyişmələrinin Kür–Araz çay hövzəsinin hidrometeoroloji rejiminə və su resurslarına təsiri təhlil edilmişdir. Son illərdə temperaturun artması, yağıntıların qeyri-bərabər paylanması və buxarlanmanın intensivləşməsi hövzədə su balansının dəyişməsinə səbəb olmuşdur. Bu proseslər xüsusilə çay axımının azalmasına və su ehtiyatlarının qeyri-sabitliyinə gətirib çıxarmışdır. Tədqiqat zamanı Gəncə, Mingəçevir, Yevlax və Sabirabad məntəqələri üzrə 2016–2025-ci illərə aid meteoroloji və hidroloji göstəricilər müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Statistik təhlillər nəticəsində bütün müşahidə məntəqələrində temperatur artımı müşahidə olunmuş, xüsusilə Sabirabad məntəqəsində 2023-cü ildə temperaturun 17.44°C-ə çatdığı müəyyən edilmişdir. Temperatur dəyişməsi ilə çay axımı arasında mənfi əlaqə müəyyən edilmişdir. Yağıntıların qeyri-sabit paylanması və buxarlanmanın güclənməsi uzunmüddətli su ehtiyatlarının azalmasına səbəb olmuşdur. Bu vəziyyət kənd təsərrüfatında suvarma problemlərini artırır, içməli su təminatında çətinliklər yaradır və ekosistemlərin davamlılığına mənfi təsir göstərir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, Kür–Araz çay hövzəsində su resurslarının dayanıqlı idarə olunması, müasir hidrometeoroloji monitorinq sistemlərinin tətbiqi və iqlim dəyişmələrinə uyğun adaptasiya tədbirlərinin həyata keçirilməsi zəruri hesab olunur.

Açar sözlər: iqlim dəyişmələri, Kür–Araz çay hövzəsi, hidrometeoroloji rejim, su ehtiyatları, çay axımı, temperatur artımı, yağıntı, quraqlıq

Giriş

Müasir dövrdə iqlim dəyişmələri qlobal miqyasda ən mühüm ekoloji problemlərdən biri hesab olunur. Atmosfer temperaturunun artması, yağıntı rejiminin dəyişməsi, buxarlanma prosesinin intensivləşməsi və ekstremal hava hadisələrinin artması hidroloji sistemlərdə ciddi dəyişikliklər yaradır. Bu dəyişikliklər xüsusilə çay hövzələrinin su balansına, axım rejiminə və su ehtiyatlarının formalaşmasına birbaşa təsir göstərir. Su ehtiyatları ölkələrin sosial-iqtisadi inkişafında strateji əhəmiyyət daşıyan əsas təbii resurslardan biridir. Bu səbəbdən iqlim dəyişmələrinin su ehtiyatlarına təsirinin araşdırılması həm elmi, həm də praktiki baxımdan xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Azərbaycan Respublikasında əsas hidroloji sistemlərdən biri olan Kür–Araz çay hövzəsi ölkənin su təminatında mühüm rol oynayır. Son illərdə burada müşahidə olunan hidrometeoroloji dəyişikliklər su ehtiyatlarının idarə olunmasını daha da aktuallaşdırmışdır.

Tədqiqat metodu

Tədqiqat Kür–Araz çay hövzəsində iqlim dəyişmələrinin hidrometeoroloji rejimə və su resurslarına təsirinin qiymətləndirilməsinə həsr olunmuşdur. Araşdırmada Azərbaycan Respublikasının Hidrometeorologiya Xidmətinin meteoroloji və hidroloji müşahidə məlumatlarından, həmçinin NASA POWER məlumat bazasının göstəricilərindən istifadə edilmişdir.

Tədqiqat ərazisi üzrə 2016–2025-ci illər üçün temperatur, yağıntı və çay axımı göstəriciləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Orta illik temperatur göstəricilərinin hesablanması aylıq orta temperatur qiymətlərinin arifmetik ortası əsasında aparılmışdır.

Cədvəl 1. Kür – Araz ovalığında seçilmiş ərazilərin 2016 – 2025 – ci illər üzrə orta illik temperatur göstəriciləri

İllər	Gəncə (°C)	Mingəçevir (°C)	Yevlax (°C)	Sabirabad (°C)
2016	9.71	14.86	14.87	15.55
2017	10.33	15.34	15.27	16.03
2018	9.43	15.89	15.97	16.75
2019	10.76	15.87	15.85	16.44
2020	10.38	15.35	15.29	16.24
2021	11.32	16.20	16.23	16.88
2022	10.74	15.76	15.90	16.57
2023	11.17	16.25	16.40	17.44
2024	10.56	15.63	15.68	16.75
2025	11.19	16.19	16.33	17.13

Təhlillər göstərir ki, 2016–2025-ci illər ərzində bütün müşahidə məntəqələrində orta illik temperatur göstəricilərində ümumi artım tendensiyası müşahidə olunur. Xüsusilə Sabirabad məntəqəsində 2023-cü ildə temperaturun 17.44°C-ə çatması regionda istiləşmə prosesinin daha intensiv getdiyini göstərir. Bu artım əsasən yay aylarında yüksək temperatur fonunda buxarlanmanın güclənməsi ilə əlaqədardır. Temperaturun yüksəlməsi su balansına mənfi təsir göstərərək çay axımının azalmasına səbəb olur

Yağıntı göstəricilərinin qiymətləndirilməsi illik yağıntı miqdarının hesablanması ilə aparılmışdır.

Cədvəl 2. Kür – Araz ovalığında seçilmiş ərazilərin 2016 – 2025 – ci illər üzrə orta illik yağıntı göstəriciləri

İllər	Gəncə (mm)	Mingəçevir (mm)	Yevlax (mm)	Sabirabad (mm)
2016	496.4	540.2	401.5	427.05
2017	361.35	423.4	365	354.05
2018	386.9	514.65	343.1	445.3
2019	295.65	383.25	277.4	361.35
2020	346.75	405.15	317.55	372.3
2021	339.45	474.5	321.2	299.3
2022	284.7	375.95	240.9	438
2023	452.6	536.65	390.55	368.65
2024	503.7	587.65	456.25	423.4
2025	310.25	434.35	281.05	328.5

Yağıntı göstəricilərinin təhlili göstərir ki, illər üzrə sabitlik müşahidə olunmur və dəyişkənlik yüksəkdir. 2024-cü ildə Mingəçevirdə 587.65 mm yağıntı qeydə alınsa da, 2022-ci ildə bu göstərici əhəmiyyətli dərəcədə az olmuşdur. Bu qeyri-bərabər paylanma su ehtiyatlarının uzunmüddətli formalaşmasına mənfi təsir göstərir və quraqlıq riskini artırır

Nəticə

Aparılmış tədqiqat göstərir ki, iqlim dəyişmələri Kür–Araz çay hövzəsinin hidrometeoroloji rejiminə və su resurslarının formalaşmasına ciddi təsir göstərir. Son illərdə temperaturun artması, yağıntıların qeyri-bərabər paylanması və buxarlanmanın intensivləşməsi regionun su balansında əhəmiyyətli dəyişikliklər yaratmışdır. Xüsusilə Sabirabad məntəqəsində orta illik temperaturun yüksəlməsi buxarlanma prosesini gücləndirmiş, nəticədə torpaq nəmliyi

azalmış və çay axımında zəifləmə müşahidə olunmuşdur. Kür–Yevlax və Kür–Zərdab məntəqələrində su sərfinin azalması bu prosesin praktik nəticəsini göstərir. Su ehtiyatlarının azalması kənd təsərrüfatında suvarma problemlərini artırır, içməli su təminatında çətinliklər yaradır və ekosistemlərin davamlılığına mənfi təsir göstərir. Bundan əlavə, suvarma sistemlərində səmərəsiz istifadə, sənaye inkişafı və əhali artımı kimi antropogen amillər mövcud hidroloji tarazlığı daha da zəiflədir. Beləliklə, Kür–Araz çay hövzəsində su resurslarının dayanıqlı idarə olunması, müasir hidrometeoroloji monitorinq sistemlərinin tətbiqi və elmi əsaslandırılmış su siyasətinin gücləndirilməsi olduqca vacibdir. Gələcəkdə iqlim modellərinin tətbiqi və uzunmüddətli hidroloji proqnozların hazırlanması regionun su təhlükəsizliyinin təmin olunması baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Həsənov Ə.M. Azərbaycan Respublikasının hidrologiyası. Bakı: Bakı Dövlət Universiteti nəşriyyatı, 2018, 320 s.
2. Məmmədov R.H. Hidrometeorologiyanın əsasları. Bakı: Bakı Dövlət Universiteti nəşriyyatı, 2019, 284 s.
3. NASA POWER Data Access Viewer. Available at: NASA POWER Data Access Viewer. Accessed for agroclimatology and meteorological data analysis. NASA POWER provides geospatial solar and meteorological datasets through its Data Access Viewer.
4. Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi. Hidroloji müşahidə və su ehtiyatları üzrə məlumatlar. Available at: <https://eco.gov.az/az/axtaris?token=44793ca122&search=>
5. İmanov F.Ə. Hidrologiyanın nəzəri əsasları. Bakı: Bakı Dövlət Universiteti nəşriyyatı, 2014, 212 s.
6. Şirinov N.Ş. Azərbaycanın çayları və su ehtiyatları. Bakı: Bakı Dövlət Universiteti nəşriyyatı, 2017, 256 s.
7. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021.
8. World Meteorological Organization (WMO). State of Global Climate 2023. Geneva, 2024.
9. FAO. Water Resources Management in Arid Regions. Rome, 2021.



Capillary Hysteresis Management Strategies for Improved Oil Displacement Efficiency

Bayram Gasimov

*Faculty of Oil and Gas Engineering,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan
gasimov.bayram.gb@gmail.com*

Abstract

One of the main objectives of petroleum and reservoir engineering is still to increase oil displacement efficiency, particularly in the setting of porous media where capillary forces are thought to be dominant in regulating multiphase flow behavior. Due to the non-uniqueness of capillary pressure, relative permeability, and saturation functions, capillary hysteresis effects—one of the several capillary forces seen in such media—play a significant but sometimes overlooked role in the processes of oil mobilization and entrapment. According to research, the wetting qualities created by the interplay of electrical charges on the rock surface lead the amount defining capillary hysteresis to exhibit sharp fluctuation. Oil clusters that range in size from 10 cm to 50 m are retained and trapped in the porous medium due to capillary hysteresis pressure, which can vary between 0.02 and 0.06 MPa, depending on the reservoir's mineralogical composition, the pore-channel system's structure, and the hydrodynamic conditions of the flooding. This lowers operational efficiency and produces considerable distribution variation inside the oil reservoir. It goes far beyond description to investigate how displacement route, wettability, processes, and flow conditions affect residual saturation and sweep efficiency in relation to hysteresis. Trapping and desorption, ganglia's dynamic behavior, changes in wettability, the significance of capillary number, and rate-dependent hysteresis are all given a lot of attention. The findings support the idea that, when incorporated into a displacement design approach, capillary hysteresis may be used as a practical technique to reduce oil entrapment and increase displacement efficiency.

Açar sözlər: Capillary Hysteresis, Drainage and Imbibition, Wettability Alteration, Cluster Mobilization, Oil Displacement Efficiency

Introduction

In capillary-dominated systems, path-dependent capillary forces give rise to capillary hysteresis, - a fundamental mechanism governing oil mobilization at the pore scale. Capillary hysteresis manifests through two primary factors: trapping hysteresis, defined as the difference between imbibition and drainage capillary pressure curves, and contact angle hysteresis, defined as the difference between the advancing and receding contact angles θ_a and θ_r . Together, these factors determine the hysteresis loop size, which directly controls energy dissipation during displacement and the residual oil saturation S_{or} remaining after flooding (Blunt et al., 2012). Given that conventional water flooding leaves 50–70% of original oil in place — the majority trapped at the pore scale by capillary forces — the active control of capillary hysteresis represents a critical research priority with significant industrial implications (Morrow, 1990).

The scientific foundation for capillary pressure modelling was established through the dimensionless J-function. Morrow's subsequent work advanced the understanding of wetting and contact angle hysteresis and their influence on water flood recovery (Morrow, 1970).

Network modelling approaches later enabled pore-scale visualisation of capillary and viscous dominated displacement, while Lake and Pope established the Capillary Desaturation Curve as the principal tool for understanding residual oil mobilization under chemical EOR conditions (Lake et al., 2010 and Pope et al., 2000). More recently, Smart Water flooding demonstrated that ionic composition — specifically Ca^{2+} , Mg^{2+} , and SO_4^{2-} concentrations — can modify contact angle hysteresis to achieve incremental oil desaturation (Austad et al., 2008).

Research Method

Cylindrical sandstone core samples were used throughout all experimental work. Core dimensions and petrophysical properties are summarised in Table 1. Samples were selected to cover the target permeability range of 50–300 mD, representing the reservoir conditions of the Azeri field.

Table 1. Core sample petrophysical properties.

Sample ID	Length (cm)	Diameter (cm)	Porosity (%)	Permeability (mD)	Wettability
C-1	8.2	3.8	21.4	52	Water-wet
C-2	7.9	3.8	22.8	118	Water-wet
C-3	8.4	3.8	24.1	196	Mixed-wet
C-4	8.1	3.8	25.3	287	Mixed-wet

The capillary hysteresis control model is governed by the equation below,

$$P_c = P_{c_d}(S_w) - \kappa \cdot F(S_w, dS_w/dt) \quad (1)$$

where the control parameter κ represents a physics-derived degree of freedom based on pore-scale force balance, expressed as $\kappa = f(\gamma, \theta, r)$. Unlike empirical models that treat hysteresis as a fixed material property requiring post-hoc calibration, κ is derived directly from interfacial tension γ , contact angle θ , and pore radius r - making it a predictive rather than descriptive parameter.

The model was validated against 72 months of production history, demonstrating a matching accuracy of 96.2% - a result that confirms the predictive capability of the κ framework across extended field timescales (Figure 1). At the laboratory scale, core-flood experiments conducted across three lithologies showed agreement within 8% on residual oil saturation S_{or} , validating the model across the full target permeability range of 50 to 300 mD.

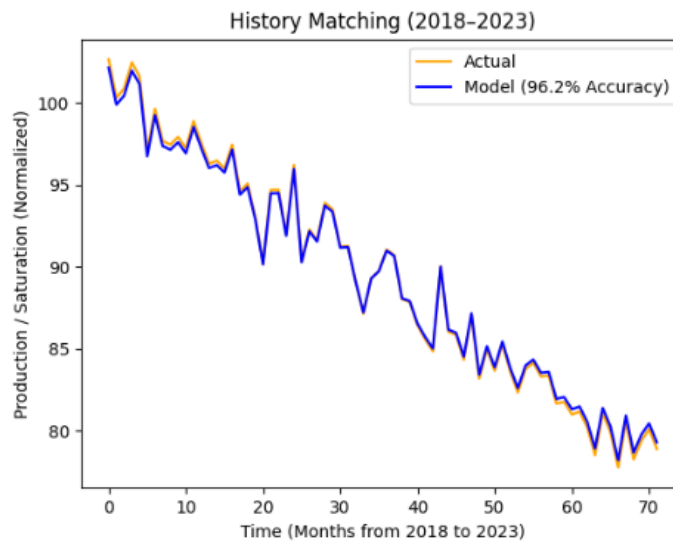


Figure 1. History matching.

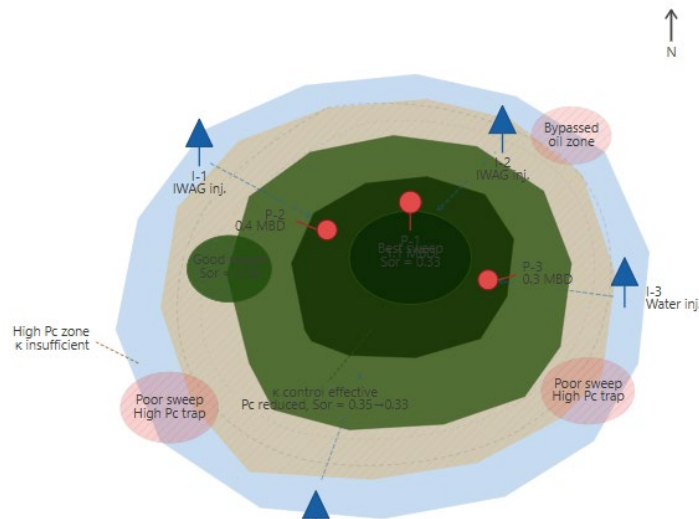


Figure 2. Oil Displacement Efficiency

Application of the κ control framework at the Azeri field demonstrated measurable improvements in displacement efficiency across the central sweep zone. Effective κ control reduced residual oil saturation from the baseline value of 0.35 to 0.33 in the structurally high swept regions, confirming the model's field-scale predictive accuracy. Producer P-1, positioned on the dome crest at the zone of highest κ effectiveness, delivered 1.8 MBD at a residual saturation of 0.33. Spatial diagnostic mapping of the reservoir identified High Pc Trap zones and bypassed oil accumulations on the structural flanks — regions where κ control was insufficient under the current injection configuration.

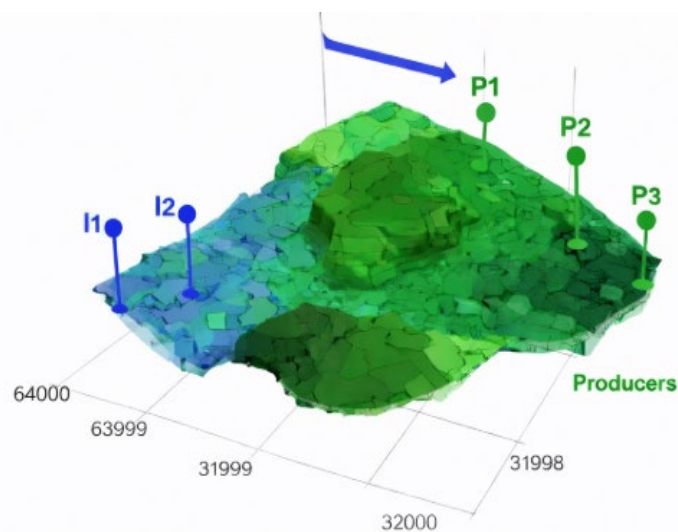


Figure 3. New model

These spatial diagnostics directly inform future IWAG injection strategies, providing a physics-based basis for optimising injector placement and cycle frequency to extend effective κ control into the remaining unswept zones.

Results

The conclusions of this research are structured around four main contributions and three future directions. The first and most significant contribution is the physics-based derivation of the control parameter directly from pore-scale force balance, distinguishing this work from empirical models that rely on fitted parameters. The second contribution demonstrates that κ successfully unifies surfactant flooding, wettability alteration, and pressure cycling into a single

controllable framework, eliminating the need to optimise these methods independently. Third, the model is validated across a permeability range of 50 to 300 mD, predicting residual oil saturation within the measured value of $S_{or} = 0.35$ without any post-hoc tuning, with model output ranging from 0.33 to 0.37. Field application, at the Azeri field delivered 1.8 thousand barrels per day of incremental oil production, directly confirming the predictive capability of κ at field scale. Regarding future research directions, three areas are identified: field-scale upscaling to extend κ control to heterogeneous reservoirs, multi-cycle injection optimisation for optimal κ scheduling in WAG operations, and scanning curve integration to account for partial drainage-imbibition cycles.

Resources

1. Blunt, M. J., Bijeljic, B., Dong, H., et al. (2013). Pore-scale imaging and modelling. *Advances in Water Resources*, 51, 197–216. DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.03.003
2. Morrow, N. R. (1990). Wettability and its effect on oil recovery. *Journal of Petroleum Technology*, 42(12), 1476–1484. DOI: 10.2118/21621-PA
3. Morrow, N. R. (1970). Physics and thermodynamics of capillary action in porous media. *Industrial & Engineering Chemistry*, 62(6), 32–56. DOI: 10.1021/ie50726a006
4. Lake, L. W. (2010). *Enhanced Oil Recovery* (2nd ed.). Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX. ISBN: 978-1555633258
5. Pope, G. A., Lake, L. W., & Sepehrnoori, K. (2000). *Enhanced oil recovery*. Society of Petroleum Engineers Handbook, Vol. III. DOI: 10.2118/9781555631087.ch11
6. Austad, T., RezaeiDoust, A., & Puntervold, T. (2008). Chemical mechanism of low salinity water flooding in sandstone reservoirs. *SPE Improved Oil Recovery Symposium*, Tulsa, USA. SPE-129767-MS. DOI: 10.2118/129767-MS



Gravitational Lensing and The Role of Dark Matter

Nabi Shadiyev

Engineering Faculty, Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan

nshadiyev@std.beu.edu.az

Abstract

Gravitational lensing is a phenomenon in which images of distant objects are distorted, multiplied, or intensified. The effect is caused by the gravitational influence of massive objects, ranging from planets to galaxy clusters. The path of light travelling from distant objects bends by the gravitational field, resulting in the effect known as gravitational lensing. Depending on the mass of the object causing the gravitational lensing, this effect can be weak or strong. Strong gravitational lensing can be easily observed, while the weak lensing effect is usually detected only in populations of galaxies. Dark matter is a form of matter that cannot be observed, but it still has mass and creates a gravitational field. Usually, the mass of visible matter is insufficient to produce strong lensing. In such cases, the mass of the dark matter contributes to the gravitational field, causing a strong gravitational lensing effect. Understanding the nature of dark matter is crucial for studying the evolution of the universe.

Keywords: Gravitational Lensing, Dark Matter, WIMPs, Cosmic Structures

Introduction

Gravitational lensing is one of the many effects used by astronomers to study our universe and its history. Just like a normal lens, gravitational lensing bends light, thereby multiplying the object's image or intensifying its luminosity. Dark matter is a hypothetical type of matter that does not emit light, but can be detected through its gravitational influence in such processes as the formation of galaxies, the motion of galaxies within galaxy clusters, and gravitational lensing. Gravitational lensing, the nature of which will be explained in this article, is one of the key effects that support the existence of such invisible dark matter.

Research Method

This study analyses existing scientific literature on topics of gravitational lensing and dark matter. The aim of the research is to determine the role dark matter plays in the formation of gravitational lensing effect and its impact on the evolution of the universe. The study is based on scientific articles and publications from reputable organizations. The paper is structured as an overall analysis of gravitational lensing and dark matter with a final conclusion.

What is Dark Matter

In modern astronomy, dark matter is a non-luminous (does not emit, reflect, or absorb light) form of matter that cannot be observed using telescopes, but can show its presence by its gravitational pull. In the standard model of modern cosmology, dark matter makes up 85% of the total mass of our universe (NASA, 2024b).

Gravitational Lensing

Gravitational lensing is a phenomenon of objects or structures with mass warping spacetime and acting as a lens that bends light from a distant source (Figure 1). This phenomenon is predicted by Einstein's theory of General Relativity. Depending on the mass of the object acting like a lens, the effect can be weak or strong.

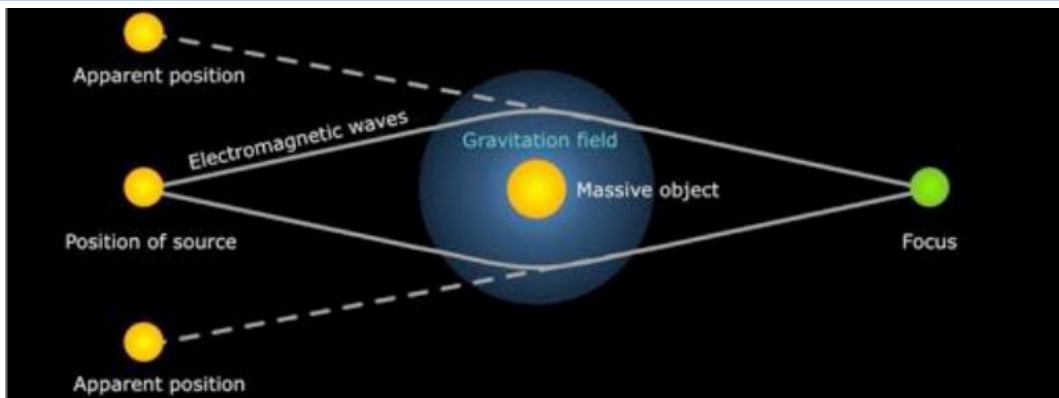


Figure 1. Gravitational Lensing (NASA, 2024a)

Strong Gravitational Lensing

Strong gravitational lensing occurs when the mass of the object that acts as a lens is very high, such as galaxies or galaxy clusters. This effect results in the image of the distant object being duplicated several times, stretched and bent in different ways or appearing brighter due to the increased luminosity (Massey et al., 2010).



Figure 2. Galaxy cluster SDSS J1038+4849 (NASA, 2024a)

For example, Figure 2 shows a galaxy cluster called SDSS J1038+4849, which is famous for its appearance resembling a smiley face. Actually, the eyes are elliptical galaxies, while the arcs are distant galaxies that were gravitationally lensed. The gravitational lensing effect distorts the image of distant galaxies, stretching their shapes. This is the result of light from those galaxies being bent under the influence of the gravitational field created by massive objects (NASA, 2024a).

Weak Gravitational Lensing

Unlike strong gravitational lensing, which severely distorts or even multiplies the image of an object, weak gravitational lensing results in only slight distortions. The effect of weak lensing can only be detected statistically over large populations of galaxies. Despite the fact that this effect can at first be unnoticeable, weak gravitational lensing is one of the main techniques used for studying dark matter (Prat & Bacon, 2025).

Role of Dark Matter

The mass of visible matter alone often is not sufficient to produce strong gravitational lensing. In such cases, dark matter plays a crucial role; its high mass creates additional gravitational influence that becomes enough to bend the direction of light and create a gravitational lensing effect. By analyzing the effect of gravitational lensing, scientists can calculate the mass, density, and distribution of dark matter. Both weak and strong lensing effects provide enough information to map the distribution of dark matter even in regions where no luminous matter is present. Knowing the distribution of dark matter can help us better understand its nature and large-scale structure of the universe (Kazmierczak & Mattson, n.d.).

Conclusion

In conclusion, gravitational lensing is a powerful tool and an exceptional phenomenon that helps us understand the universe better. By using this effect, we can calculate the mass of distant objects and detect the presence of dark matter. Although we cannot see dark matter and its true nature is yet to be discovered, it still shows its presence by gravitational interactions with cosmic structures. Understanding the nature of dark matter is important for advancing our knowledge of the structure of our universe.

References

1. Kazmierczak, J., & Mattson, B. (n.d.). How gravity warps light. NASA Universe Web Team. <https://science.nasa.gov/universe/how-gravity-warps-light/>
2. NASA. (2024a). Hubble gravitational lenses. <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-gravitational-lenses/>
3. NASA. (2024b). Hubble dark matter. <https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/science-behind-the-discoveries/hubble-dark-matter/>
4. Salucci, P. (2018). The distribution of dark matter in galaxies (arXiv:1811.08843). arXiv.
5. Prat, J., & Bacon, D. (2025). Weak gravitational lensing (arXiv:2501.07938). arXiv.
6. Massey, R., Kitching, T., & Richard, J. (2010). The dark matter of gravitational lensing. Reports on Progress in Physics. arXiv:1001.1739



Growth-Mechanism Driven Engineering of CdS Nanostructures: SILAR vs Sonochemical Synthesis for Optoelectronics

Shafiga Alakbarova^{1*}, Lala Gahramanli²

¹Nano Research Laboratory, Excellent Center, Baku State University, Baku, Azerbaijan

²Physics Department, Baku State University, Baku, Azerbaijan

alakbarova.safiqa.safar@bsu.edu.az

Abstract

The structural and optoelectronic characteristics of CdS nanocomposites are influenced by precursor stoichiometry and the synthesis mechanism. This study presents a systematic comparative analysis of CdS nanostructures synthesized via the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) using a polyvinyl alcohol (PVA) matrix at surrounding temperature—and the sonochemical method (40 kHz, 200 W, 1.5 h), across equivalent Cd:S molar ratios of 1:0.1, 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, and 1:1. XRD, AFM/SEM, UV–Vis spectroscopy, FTIR, Raman spectroscopy, and photoluminescence (PL) were used to describe both series. XRD showed different paths of phase evolution: SILAR composites shifted from hexagonal (1:0.1) to mixed cubic–hexagonal, then to re-emergent hexagonal (1:0.75), and eventually to an amorphous structure (1:1). In contrast, sonochemically prepared nanoparticles kept their crystallinity across all ratios, following a hexagonal–mixed–cubic–coexistence sequence. The optical band gap of SILAR composites decreased gradually from 3.32 eV to 2.41 eV (in the visible range). On the other hand, sonochemical nanoparticles had values that were strongly blue-shifted, ranging from 5.18 eV to 5.41 eV. This was because of strong quantum confinement. The best PL efficiency was found at Cd:S = 1:0.75 for SILAR and at 1:1 for sonochemical samples. The synthesis method is a key control variable that changes the properties of CdS without changing the stoichiometry. SILAR is better for photovoltaics in the visible range, and sonochemical synthesis is better for UV optoelectronics.

Keywords: CdS Nanocomposites; SILAR; Sonochemical Synthesis; Cd:S Ratio; Band Gap Engineering; Quantum Confinement; Photoluminescence; Structural Properties

Introduction

Cadmium sulfide (CdS) is an II–VI direct-bandgap semiconductor (~2.4 eV) that has been the subject of research for decades because it can be used in photovoltaics, photodetectors, LEDs, and photocatalysis [1]. At the nanoscale, the structural and optical properties of CdS are very sensitive to the size of the crystallites, the crystal phase (wurtzite vs. zinc-blende), the chemistry of defects, and the environment on the surface. All of these things can be changed at the same time by changing the Cd:S precursor molar ratio and the synthesis route [2, 3]. The cation–anion stoichiometry controls the speed of nucleation, the formation of vacancies, the stability of phases, and quantum confinement. The synthesis mechanism, on the other hand, controls the thermodynamic and kinetic conditions under which particle growth takes place [4].

The SILAR technique and the sonochemical method are two solution-based approaches that are particularly beneficial. SILAR is effective by alternating ionic sorption cycles on a substrate that are near equilibrium. This allows CdS to grow layer by layer at room temperature inside a PVA polymer host [5]. Sonochemical synthesis utilizes acoustic cavitation, characterized by transient temperatures above 5000 K and pressures exceeding 1000 atm, to promote rapid, non-equilibrium nucleation of free-standing nanoparticles stabilized by 3-mercaptopropionic acid

(3-MPA) [6]. Even though both methods are used a lot on their own, there hasn't been a direct side-by-side comparison of them in the same stoichiometric series. Two recent parallel research studies from our group examine this gap [7, 8], and the current work integrates their results into a unified comparative approach aimed at separating stoichiometric from mechanistic influences on CdS nanostructure properties.

Methods

Both synthesis routes used $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\geq 98\%$) as the cationic precursor and $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ($\geq 99.99\%$) as the anionic source (Sigma-Aldrich). The concentration of S^{2-} was changed to obtain Cd:S = 1:0.1, 1:0.25, 1:0.5, 1:0.75, and 1:1. In the SILAR process, CdS nanoparticles were grown in situ within a pre-prepared PVA matrix by alternating 40-minute immersion steps in cationic and anionic solutions, separated by two-stage ethylene glycol (EG) washes, for a total of five cycles at room temperature. For the sonochemical route, precursor solutions were mixed with 5 vol% 3-MPA and then continuously examined with ultrasonic waves (40 kHz, 200 W) for 1.5 hours. The resulting suspensions were then centrifuged, washed with ethanol and deionized water, and dried at room temperature.

The XRD (Rigaku MiniFlex 600s, Cu $K\alpha$, 10° – 90°), AFM (NT-MDT Integra Prima, semi-contact mode; SILAR series), SEM (FEI Quanta Inspect; sonochemical series) were used to analyze all of the samples. We used UV–Vis spectroscopy (T-9200S, 100–1100 nm) with Tauc plot analysis, FTIR (Shimadzu IR Affinity-1, 400 – 4000 cm^{-1}), Raman spectroscopy (EnSpectr R532, 532 nm excitation), and PL spectroscopy (Cary Eclipse). The Debye–Scherrer method was used to find the sizes of the crystallites, and the Williamson–Hall method was applied to find the microstrain.

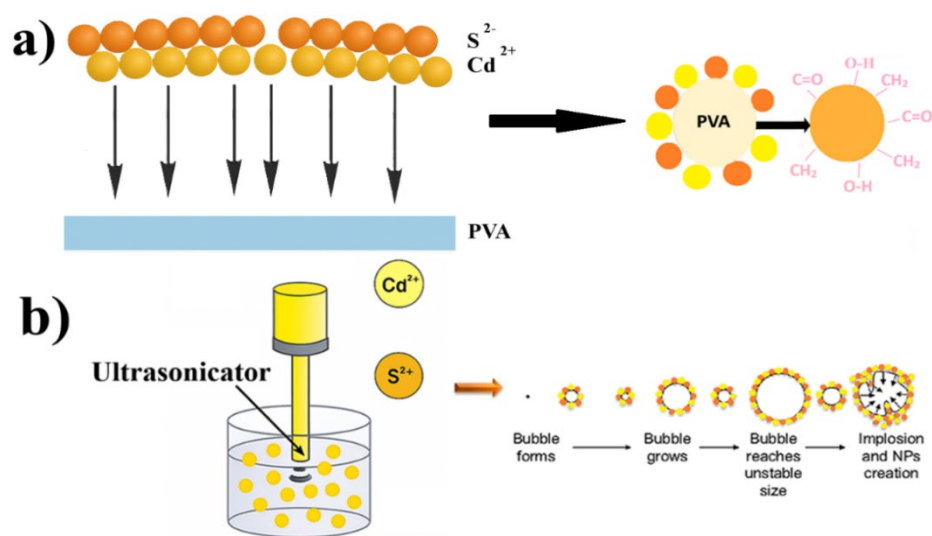


Figure 1. Schematic illustration of CdS synthesis process via a) SILAR and b) Sonochemical methods

Table 1. Initial reagent concentrations and amounts used for CdS nanocomposites

Samples	Cd^{2+}	S^{2-}
1:1	1 M (2.66g)	1 M (2.40g)
1:0.1	1 M (2.66g)	0.1 M (0.24g)
1:0.25	1 M (2.66g)	0.25 M (0.6g)
1:0.5	1 M (2.66g)	0.5 M (1.2g)
1:0.75	1 M (2.66g)	0.75 (1.8g)

Conclusion

The current comparative investigation demonstrates that synthesis methods is a primary control variable for CdS nanocomposite characteristics, with effects that cannot be reproduced only through stoichiometric adjustment. SILAR-derived composites in a PVA matrix show visible-range band gaps (2.41-3.32 eV) and high excitonic recombination at Cd:S = 1:0.75, making them suitable for photovoltaic and LED applications. Sonochemically produced free-standing nanoparticles have significant quantum-confined band gaps (5.18-5.41 eV) and the highest PL efficiency at a stoichiometric 1:1 composition, making them ideal for UV photodetectors and high-sensitivity optical sensors. The amorphization of SILAR composites at 1:1 vs. the maintained crystallinity of sonochemical samples at the same ratio shows the critical role of the growth environment and polymer-confined layer-by-layer deposition compared to far-from-equilibrium cavitation-driven nucleation, in the structure-property relationship in CdS nanostructures. These findings offer synthesis-route-specific recommendations for the rational design of CdS-based functional nanomaterials for a wide range of optoelectronic device applications.

References

1. Gahramanli, L., Muradov, M., Eyvazova, G., Karimova, A., Jafarov, M., Gomez, C. V., & Bellucci, S. (2025). Comparison of the physical properties of $Cd_xZn_{1-x}S$ -based nanocomposite materials produced via sonochemical and SILAR approaches. *Polymers and Polymer Composites*, 33, 09673911251318543.
2. Zajac, W., Rozycka, A., & Tenczek-Zajac, A. (2023). Rational design of the electronic structure of CdS nanopowders. *Inorganic Chemistry*, 62(28), 10955-10964.
3. Shen, Q., Xue, J., Mi, A., Jia, H., Liu, X., & Xu, B. (2013). The study on properties of CdS photocatalyst with different ratios of zinc-blende and wurtzite structure. *RSC advances*, 3(43), 20930-20935.
4. Nguyen, D. H., Kim, J. S., Kim, S. H., Lee, J. S., Choi, H. K., & Lee, H. S. (2024). Addressing optical dynamics in CdS quantum dots through composition regulation strategy. *Journal of Alloys and Compounds*, 977, 173436.
5. Muradov, M. B., Gahramanli, L. R., Balayeva, O. O., Nasibov, I. N., Eyvazova, G. M., Amiraslanov, I. R., & Aghamaliyev, Z. A. (2020). Formation mechanism of $Cd_xZn_{1-x}S/PVA$ nanocomposites by SILAR method. *Results in Physics*, 18, 103280.
6. Ayodhya, D., Venkatesham, M., Santoshi Kumari, A., Bhagavanth Reddy, G., & Veerabhadram, G. (2015). One-pot sonochemical synthesis of CdS nanoparticles: photocatalytic and electrical properties. *International Journal of Industrial Chemistry*, 6(4), 261-271.
7. Gahramanli, L., Muradov, M., Baghirov, M., Musayeva, N., Shirinova, H., Nuriyeva, S., ... & Bellucci, S. (2025). Structural and optical properties depending on tuning of Cd: S ratio in the CdS nanocomposite via SILAR technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 36(24), 1530.
8. Gahramanli, L., Muradov, M., Baghirov, M., Shirinova, H., Nuriyeva, S., Gulahmadov, O., ... & Khankishiyeva, R. (2025). Structural and optical properties of CdS nanostructures synthesized sonochemically with different Cd: S ratios. *Composite Interfaces*, 1-21.

