



“Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər”

II respublika elmi-praktiki konfransının

ƏSƏRLƏRİ

Proceedings

of the II Republic Scientific-Practical Conference

"Digital Medicine 4.0: Challenges, Opportunities and Prospects"

Təşkilatçılar

Azərbaycan Respublikasının Səhiyyə Nazirliyi

Milli Məclisin Səhiyyə Komitəsi

Milli Onkologiya Mərkəzi

Azərbaycan Tibb Universiteti

İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu

Azərbaycan Texniki Universiteti

Biofizika İnstitutu

BAKİ, 23 may 2025-ci il

Elmi redaktorlar: Akademik Rasim Əliquliyev

AMEA-nın müxbir üzvü, professor Məsumə Məmmədova

Texnika elmləri doktoru, dosent Zərifə Cəbrayıllova



MÜNDƏRİCAT

SEKSIYA I: Rəqəmsal tibbin formalaşmasının elmi-nəzəri problemləri

Cyber resilience issues of medical cyber-physical systems.....	10
Rasim Alguliyev, Ramiz Aliguliyev, Lyudmila Sukhostat <i>MSE Institute of Information Technology</i>	
Analysis of Large Language Models for the central processing of medical data.....	14
Vilayat Valiyev, Nuran Abdullayev, Javid Abbasli <i>Azerbaijan Technical University</i>	
Using digital Health technologies to innovate Immunology and Pharmacology education...	18
Nadeem Fazal <i>Chicago State University, USA</i>	
Süni intellektə əsaslanan tibbi diaqnostika üçün funksional biomarkerlərin tətbiqi.....	22
Mətanət Baxışova, Leylaxanım Məlikova, Oktay Qasimov <i>ETN Biofizika İnstitutu</i> <i>Milli Onkologiya Mərkəzi</i>	
EGFR və HER2-nin təkamüldə qorunub saxlanmış farmokoloji cəhətdən mühüm aminturşu ardıcılıqlarının kompüter analizi.....	27
İlham Şahmuradov, Günay Əliyeva, Aysel Əliyeva, Azad Əbdürəhimov, Kərim Qasimov <i>ETM Biofizika İnstitutu</i>	
From global best practices to national implementation: Digital Health strategies for Azerbaijan.....	32
Bahar Graefen <i>Chicago State University, USA</i>	
Qeyri-kiçik hüceyrəli ağciyər xərçəngində EGFR gen mutasiyalarının klassifikasiyası və müxtəlif metodlarla aşkarlanması.....	37
Səbinə Mehdizadə, Elçin Mansurov, Cavid Əliyev, Elnarə Əliyeva, İlqar Qasımzadə, Aleksandra Quliyeva, Leylaxanım Məlikova <i>Milli Onkologiya Mərkəzi</i> <i>ETN Biofizika İnstitutu</i> <i>Ə.Əliyev adına Azərbaycan Dövlət Həkimlərin Təkmilləşdirmə İnstitutu</i>	
Optimizing indoor air quality and reducing costs through ethernet-powered sensor networks: A BASF case study and benefits for Azerbaijan.....	41
Patrick Graefen <i>BASF SE, Germany</i>	

SPARC və TGF- β qarşılıqlı təsirinin rəqəmsal texnologiyalarla mexaniki analiz üsulları və onkologiyada terapevtik potensialı.....	47
Banu Astanova, Sevda Mahmudova	
<i>ETN Biofizika İnstitutu</i>	
<i>Bakı Dövlət Universiteti</i>	
CHAIN.CARE: A Privacy-Preserving Federated Learning Approach for AI-Driven Oncology Research Assistance.....	51
Safa Omri, Wafa Omri, Elena Kalimera, Fouad Omri	
<i>Predapp - Predictive Applications, Germany</i>	
Tibbi şəbəkə infrastrukturunun arxitekturası: tibbi sağlamlıq sensorlarının bulud əsaslı platformalara integrasiyası.....	55
Rəşid Ələkbərov, Oqtay Ələkbərov	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal səhiyyə mühitində fərdi tibbi məlumatların kibertəhlükəsizlik problemləri və həlləri	58
Ramiz Şıxəliyev	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Tibbi verilənlərin monetizasiyası məsələləri.....	65
Rasim Mahmudov	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Adaptive Protection Against energy depletion attacks in wearable medical devices.....	71
Shakir Mehdiyev	
<i>MSE Institute of Information Technology</i>	
Pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb ekosistemi: problemlər və həllər.....	78
Fərhad Yusifov	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Səs rəqslərinin aşağı zolaq tezliklərinin akustik küyünün sağlamlığa bəzi ziyanlı təsirləri...	83
Bikəs Ağayev, Məleykə Paşayeva	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal tibb infrastrukturunda kiber insidentlər, təhdidlər, risklər və onların intellektual analizi	87
Babək Nəbiyev, Könül Daşdəmirova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Beyin-kompüter interfeysinin tibbdə tətbiqləri: mövcud vəziyyəti və perspektivləri.....	92
Məmməd Həşimov	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal tibb 4.0 və sosial kredit sistemləri: problemlər və perspektivlər.....	97
İradə Ələkbərova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	

Şifrələmə metodlarından istifadə etməklə mərkəzləşdirilmiş fərdi tibbi məlumat bazalarının kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi.....	101
Araz Mustafa <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Süni intellektin səhiyyə sahəsində tətbiqi.....	106
Kəmalə Kərimova, Əminə Aslanova, İsmayıl Qafarov, Xəyalə Məmmədova <i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
Scopus və Web of Science bazalarının məlumatları əsasında tibb elmlərinin bibliometrik analizi.....	110
Nərmin Adıgözəlova <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal tibbin inkişafında vətəndaş elminin rolu.....	114
Təhmasib Fətəliyev, Nərgiz Verdiyeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması problemləri və onların həlli yolları.....	118
Əfruz Qurbanova, Mehriban Bağirova <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Süni intellekt texnologiyalarının tibbə tətbiqinin yaratdığı imkanlar və perspektivlər.....	122
Kəmalə Qurbanova <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Azərbaycanda tibbdə süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi tarixi.....	127
Aytən Nəbiyeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Cəmiyyət 5.0 çərçivəsində rəqəmsal transformasiyanın inklüziv inkişafa təsiri.....	131
Nəzrin Rzayeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
İnsan sağlamlığına yönəlmiş kibertəhlükələr və onların rəqəmsal ekspertizası.....	135
Sənan Vəlizadə <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	

SEKSIYA II: Tibdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin elmi-praktiki problemləri

Hepatosellulyar karsinomanın diaqnostikası üçün ekspert sistemi.....	141
Məsumə Məmmədova, Nuru Bayramov, Zərifə Cəbraylova, Minarə Manaflı, Mehriban Hüseynova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
<i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
Sosial stereotiplər və milli mental dəyərlər kontekstində tibbi problemlər: xalq təbabətindən rəqəmsal tibbi folklora.....	146
Hikmət Quliyev	
<i>AMEA Folklor İnstitutu</i>	
A Multifunctional and Multilingual Educational Surgical Platform for Medical Professionals..	150
Nuru Bayramov, Aygun İbrahimova, Ragif İsmayilov, Ağshin Pashayev	
<i>MSE Institute of Information Technology</i>	
<i>Azerbaijan Medical University</i>	
Tibbi diaqnostikada süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi.....	153
Gülçin Abdullayeva	
<i>ETN İdarəetmə Sistemləri İnstitutu</i>	
Genom verilənlərinin tibdə istifadə imkanları: nailiyyətlər və perspektivlər.....	158
Mehrac Abbasov	
<i>ETN Genetik Ehtiyatlar İnstitutu</i>	
Neural Networks for Acute Lymphoblastic Leukemia Detection.....	162
Airam Curtidor, Tetyana Baydyk	
<i>National University of Rosario Castellanos, Mexico</i>	
<i>National Autonomous University of Mexico, Mexico</i>	
Beyin şişlərinin tibbi təsvirlər əsasında vision transformer modelləri ilə diaqnostikası.....	169
Məsumə Məmmədova, Fərqanə Abdullayeva	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Research of the increasing dynamics of neurologically based mental disorders with neural networks	173
Nuran Abdullayev, Sahib Piriye, Javid Abbasli	
<i>Academic Hospital of the Friedrich-Wilhelms-University Bonn, Troisdorf, Germany</i>	
<i>Azerbaijan Technical University</i>	
Hepatosellulyar karsinomanın ilkin müalicə seçimi üçün intellektual sistemin yaradılması alqoritm.....	178
Məsumə Məmmədova, Nuru Bayramov, Zərifə Cəbraylova, Minarə Manaflı, Mehriban Hüseynova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
<i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	

Dağınq skleroz xəstəliyinin idarə olunmasında süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi.....	184
Fatimə Əliyeva, Aytən Məmmədbəyli, Rəna Şirəliyeva	
<i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
<i>Ə.Əliyev adına Azərbaycan Dövlət Həkimləri Təkmilləşdirmə İnstitutu</i>	
Tibbi informasiya sistemində süni intellektin rolu.....	188
Nəzakət Qurbanova, Zaur Hacıyev, Qumru Abdullayeva	
<i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
Patoloji proseslərin proqnozlaşdırılmasında və diaqnostikasında Bayes formulunun tətbiqi haqqında.....	192
Qorxmaz Əfəndiyev	
<i>ETN İdarəetmə Sistemləri İnstitutu</i>	
Süni immun sistemləri əsasında tibbi təyinatlı proqram sisteminin kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi alqoritmi.....	196
Şəfəqət Mahmudova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili əsasında pasiyentin yaşam müddətinin proqnozlaşdırılması.....	201
Məsumə Məmmədova, Fərqanə Abdullayeva	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Data elmlərinin tətbiqilə ölkə üzrə tibbi kadr potensialının vəziyyətinin analizi və beynəlxalq səviyyədə müqayisələr.....	205
Məkrufə Hacırahimova, Aybəniz Əliyeva, Məziyə İsmayılova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Hepatosellulyar karsinoma üzrə milli bazanın MICE metodu əsasında təkmilləşdirilməsi ilə proqnozlaşdırma məsələsinin həlli.....	213
Məsumə Məmmədova, Zərifə Cəbrayılova, Lalə Qarayeva, Mehriban Hüseynova	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
<i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
Training biomedical and medical informatics specialists in Azerbaijan.....	218
Nazaket Kerimli, Shahmerdan Amirov, Amina Aslanova	
<i>Azerbaijan Medical University</i>	
Rəqəmsal tibb mühitində smart OLAP sistemlərinin tətbiqi: imkanlar, problemlər və perspektivlər.....	221
Gülnarə Nəbibəyova, Lalə Əliyeva	
<i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Медико-демографическая идентичность территориальных единиц в среде Здравоохранения 4.0.....	226
Масума Мамедова, Зарифа Джабраилова, Вагиф Мамедалиев	
<i>Институт Информационных Технологий МНО</i>	

Rəqəmsal fəaliyyət və uşaq sağlamlığı: fənlərarası təhlil.....	232
Sabirə Ocaqverdiyeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Süni intellektin köməyi ilə tibb sahəsində görüntülərin tanınması: imkanlar və perspektivlər.	236
İsmayıl Qafarov, Rəmzi Əliyev, Şəbnəm Hacıyeva <i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
Power BI platformasında fərdmərkəzli tibbi rəqəmsal əkizin yaradılması algoritmi.....	239
Məsumə Məmmədova, Zərifə Cəbraylova, Aytən Əhmədova, Mehriban Hüseynova <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i> <i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	
İnternet asılılığı problemləri və həlli yolları.....	246
Sabirə Ocaqverdiyeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Sosial media resurslarının pasiyent-dərman seqmentindəki rəylərin sentiment analizi.....	250
Məsumə Məmmədova, Zərifə Cəbraylova, Nərgiz Şıxəliyeva <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Rəqəmsal tibb 4.0 mühitində təcili tibbi yardım xidməti: çağırışlar, imkanlar və perspektivlər.....	254
Anar Səmidov <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Tibbi təsvirlər əsasında xəstəliklərin proqnozlaşdırılması üçün dərin təlim metodları.....	258
Filman Sadıqov <i>ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu</i>	
Tibbdə hədəfli dərman çatdırılmasının tətbiqi.....	264
İsmayıl Qafarov, Nərmin Ələsgərova <i>Azərbaycan Tibb Universiteti</i>	

SEKSIYA I

Rəqəmsal tibbin formalaşmasının elmi-nəzəri problemləri

Cyber Resilience Issues of Medical Cyber-Physical Systems

Rasim Alguliyev¹, Ramiz Aliguliyev², Lyudmila Sukhostat³

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹r.alguliev@gmail.com, ²r.aliguliyev@gmail.com, ³lsuhostat@hotmail.com

Abstract— Medical cyber-physical system is a critical component of the medical device network. The application of cyber-physical systems in healthcare ranges from patient monitoring to various devices. Existing technologies in this area require constant updating and rapid response to ever-increasing cyberattacks. Among the most well-known threats to medical cyber-physical systems are tampering, phishing, spoofing, data exfiltration, ransomware, DoS, etc. Attackers try to disrupt the operation of medical cyber-physical systems and gain access to confidential medical data. Existing threats violate integrity, confidentiality, and availability. In this regard, various issues of medical cyber-physical systems' cyber resilience are considered in the paper.

Keywords— *medical cyber-physical system; cyber resilience; medical device; cyberthreat; cyber-risk*

I. INTRODUCTION

Modern organizations are increasingly facing cyberthreats that continue to grow exponentially (in complexity and volume). One of the significant industries that is subject to cyberattacks is healthcare [1].

In healthcare infrastructures, medical cyber-physical systems (MCPS) are personal monitoring devices that can record and transmit multiple physiological signals [2]. The most notable feature of MCPS is the feedback that interacts with the physical environment. Data is provided to MCPS through sensors, which feed into control algorithms to manipulate actuators, changing the physical environment.

The integration of connected MCPSs has led to improved diagnosis of various diseases, their treatment, and patient care methodology [3, 4]. However, the introduction of such devices has raised a number of cybersecurity-related issues.

The dependence of healthcare on these devices and their various vulnerabilities requires the adoption of different cybersecurity measures. Cyber resilience is a key objective that will ensure that organizations can continue to operate during a cyberattack on medical devices.

Dupont et al. (2023) [5] define cyber resilience as the capacity to withstand, recover from, and adapt to external shocks caused by cyber risks. Cyber resilience considers not only information technology cybersecurity but also cyber risks. It includes the interaction of people, devices, and algorithms.

MCPS vulnerabilities can lead to various risks, including delays in patient care, device failure and shutdown, theft of patient personal data, and claims for monetary gain, among

others [6]. These can compromise healthcare operations, as well as availability, confidentiality, and integrity [7].

The significant increase in vulnerabilities highlights the need for robust measures and steps in ensuring MCPS cybersecurity and cyber resilience [8].

II. CYBER RESILIENCE ISSUES OF MEDICAL CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

- *Privacy protection* is paramount for healthcare cyber resilience [9]. DoS (denial of service) attacks, as well as ransomware, can limit access to electronic health records. The integrity of healthcare data can be compromised due to disruption of wireless access to medical devices.
- *Cloud computing* [10]. Despite the numerous benefits of cloud computing in healthcare for data storage and analysis, it may expose patient data to risk and raise personal data protection concerns.
- *Healthcare application security*. The large volume of healthcare data generated may lead to privacy and data integrity breaches. To address these issues, improved privacy policies and robust security measures are needed to protect patient data.
- *Human factor*. Phishing attacks and weak passwords increase insider threats and highlight the importance of cybersecurity awareness among healthcare professionals. Incorporating the human factor into cyber resilience risk assessments is essential to understanding and mitigating the impact of malicious cyberattacks on healthcare.

III. CYBERTHREATS TO MEDICAL CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

The emergence of MCPS devices, both implantable and wearable, has revolutionized healthcare [9]. With an expected number of 50 billion connected devices by 2028, MCPS have become indispensable tools for monitoring patient health.

Medical devices include cochlear implants, brain stimulators, cardiac defibrillators, gastric stimulators, insulin pumps, etc. [11]. Implantable medical devices have limited resources. This limits the self-protection of such devices. Such devices are often susceptible to buffer overflow when receiving false signals. Pacemakers, mechanical ventilators, and kidney

replacement devices can be completely disabled by cyberattacks [12]. Most wearable devices are susceptible to man-in-the-middle attacks [13]. An attacker can intercept communications between a doctor and a patient and gain access to confidential information (Fig. 1).

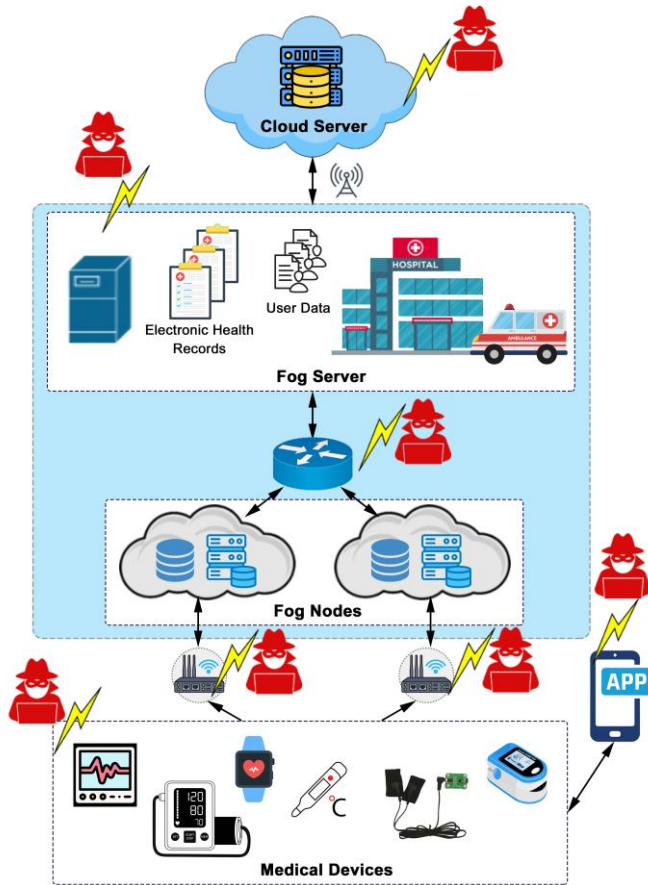


Figure 1. MCPS architecture reflecting cyberthreat emergence points.

Software problems in healthcare facilities pose a risk and can harm the patient. An example is the Therac-25 accelerator failure [14]. In addition, a drug delivery machine can cause critical availability issues [15].

The number of cyberattacks on healthcare has increased in recent years [16]. Thus, one of the most recent incidents occurred in the UK in 2024. Hackers attacked the company Synnovis, which analyzes blood transfusions. The attack occurred after malware was introduced into its IT system. The virus blocked the entire system, and the attackers demanded a ransom to regain control of the system.

IV. VULNERABILITIES OF MEDICAL CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

A. Electronic health record vulnerabilities [17]:

- Cross-site scripting;
- File inclusion;
- HTTP response splitting;

- Control flow attacks;
- Reflection injection;
- Encryption and decryption issues related to patient medical history information.

B. Some of the most well-known vulnerabilities in medical devices include:

- Weak passwords.
- Command injection flaw. These attacks include SQL injection.
- Insecure web interface. Attackers can use intrusive methods to track users, leading to data leakage.
- No account lockout. Continuous generation of different passwords allows attackers to access data.

C. Network vulnerabilities include:

- Unencrypted communications and data storage.
- Open ports. Although all ports are open by default, security can be improved.
- Insecure network services have vulnerabilities related to ransomware infections, such as Petya or NotPetya.
- Insecure cloud interface uses insecure protocols without SSL (Secure Socket Layer) encryption, which can allow an attacker to reset a password or search for login credentials.
- Lack of authorization. Authorization is required to access medical data and perform actions, no matter how destructive.

V. CYBER RESILIENCE STANDARDS IN HEALTHCARE

The standards below describe contextual constraints that need to be used in healthcare systems to provide cyber resilience.

- NIST has released NIST SP 800-160, “Developing Cyber Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach,” which defines a set of cyber-resilience techniques [18]. Each technique includes standard methodologies and practices for developing systems that are resilient to attack.
- The NIST SP 1800-1 [19] guide provides a cybersecurity reference design for healthcare organizations. It considers the healthcare information that caregivers exchange through mobile devices.
- ISO 27799:2016 focuses on the confidentiality, integrity, and availability of healthcare data. It explains the controls in ISO/IEC 27002 so that it suits the cybersecurity of healthcare information.
- NIST SP 800-66r1 [20] supports the implementation of the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA). It concentrates on protecting the cybersecurity properties of confidentiality, integrity,

and availability for Electronically Protected Health Information (EPHI).

- The ISO/IEC 27032:2012 guide describes how cybersecurity is related to information, network, internet, and critical infrastructure security.
- The NIST SP 800-82r2 [21] report presents threats and vulnerabilities common to industrial control systems and suggests mitigation controls for cybersecurity risks.
- The ISO/TR 22100-4:2018 report contributes to the consideration and resolution of cyber threats that can impact a system's safety.
- The ISO/IEC 27001:2013 standard addresses cybersecurity risks, along with their assessment and handling.

VI. MANAGING CYBERSECURITY RISKS IN MCPS

For optimal risk management, cybersecurity must be proactive and multi-layered.

- Risk assessment enables the detection of potential consequences of cyberattacks on critical MCPS data.
- Risk mitigation is possible through identification and remediation of various vulnerabilities, including patching processes, preventive controls, and incident response protocols [9, 22].
- Monitoring. Continuous monitoring of MCPS using modern security solutions enables rapid detection of cyberattacks.
- Knowledge sharing and collective response to cyber threats [9].

VII. APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES TO MCPS

AI-based methods widely use virtualization, remote big data processing, various communication technologies, etc. They are capable of ensuring cybersecurity and cyberresilience of such systems from information-control cyber threats. The following areas of AI application in healthcare can be highlighted:

- Application of Explainable Artificial Intelligence (XAI). AI will help in clinical decision-making, reduce medical errors, and improve the quality of patient care [23].
- Cognitive imagery and computer vision. Using methods based on deep learning enriched with cognitive approaches will improve the accuracy and efficiency of diagnosis and treatment [24].
- Differential diagnostics involving additional data can confirm or exclude hypotheses [25].
- Validation of decision support systems. Value-based engineering is a proactive consideration of potential risk in decision support systems for critical applications [26].

- Convergence of artificial intelligence systems. Integrating linguistic and visual information is an essential task in decision making [27].

VIII. CYBERSECURITY AND CYBER RESILIENCE MEASURES FOR MCPS

Ensuring the cyber resilience and cybersecurity of MCPS requires data analysis and the implementation of appropriate measures to mitigate and limit the consequences of incidents (Table I):

- Raising awareness.
- Implementing authentication, authorization, and audit-based systems.
- Cryptographic key exchange between developers and medical devices [28-30].
- Wireless networks should be regularly tested and updated.
- Using firewalls, routers, and network segmentation to protect systems.
- Using a proxy server prevents attackers from decrypting messages between devices [31].
- Disabling all unused ports.

TABLE I. MCPS THREATS AND MITIGATION MEASURES

Cyberthreat	Measures to prevent cyberattacks
Ransomware	Zero trust architecture implementation, multi-factor authentication, privileged access management, offline backup
Phishing	spam filtering, domain authentication protocols, cybersecurity awareness
DoS	leveraging proactive solutions, effective response strategies, software updates
Man in the Middle	data encryption, multi-factor authentication, automatic updates on all devices and applications, network traffic monitoring, implementing secure protocols

IX. CONCLUSION

In this paper, the issues of ensuring the cyber resilience of MCPS were studied. A brief study of cyberthreats to such systems was also conducted. Standards for cyber resilience in healthcare were provided. The use of artificial intelligence technologies in MCPS was analysed. The article presented a number of measures to ensure the cybersecurity and cyber resilience of MCPS, which need to be addressed in the future.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Azerbaijan Science Foundation – Grant № AEF-MCG-2023-1(43)-13/04/1-M-04.

REFERENCES

- [1] C. M. Mejía-Granda, J. L. Fernández-Alemán, J. M. Carrillo-de-Gea, and J. A. García-Berná, “Security vulnerabilities in healthcare: an analysis of medical devices and software,” *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 62, pp. 257–273, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11517-023-02912-0>
- [2] O. Kocabas, T. Soyata, and M. K. Aktas, Emerging security mechanisms for medical cyber physical systems, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, vol. 13, no. 3, pp. 401–416, 2016. <https://doi.org/10.1109/TCBB.2016.2520933>
- [3] F. Xiao, Q. Miao, X. Xie, L. Sun, and R. Wang, “Indoor anti-collision alarm system based on wearable Internet of Things for smart healthcare,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 4, pp. 53–59, 2018. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700706>
- [4] J. Phua, L. Weng, L. Ling, M. Egi, C. Lim, J. V. Divatia, B. R. Shrestha, Y. M. Arabi, J. Ng, C. D. Gomersall, M. Nishimura, Y. Koh, and B. Du, “Intensive care management of coronavirus disease 2019 (COVID-19): Challenges and recommendations,” *The Lancet Respiratory Medicine*, vol. 8, no. 5, pp. 506–517, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30161-2](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30161-2)
- [5] B. Dupont, C. Shearing, M. Bernier, and R. Leukfeldt, “The tensions of cyber-resilience: From sensemaking to practice,” *Computers & Security*, vol. 132, 103372, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103372>
- [6] GAO, “Healthcare Cybersecurity: HHS Continues to Have Challenges as Lead Agency,” GAO-25-107755, 2024. [Online]. Available: <https://www.gao.gov/assets/gao-25-107755.pdf>
- [7] E. Iannone, R. Guadagni, F. Ferrucci, A. De Lucia, and F. Palomba, “The secret life of software vulnerabilities: a large-scale empirical study,” *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 49, no. 1, pp. 44–63, 2022. <https://doi.org/10.1109/TSE.2022.3140868>
- [8] G. Marquez, H. Astudillo, and C. Taramasco, “Security in telehealth systems from a software engineering viewpoint: A systematic mapping study,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 10933–10950, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964988>
- [9] A. Abdi, H. Bennouri, and A. Keane, “Emerging cyber risks & threats in healthcare systems: A case study in resilient cybersecurity solutions,” In *Proc. of IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2024, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/MECO62516.2024.10577790>
- [10] O. Tomashchuk, “Threat and risk management framework for ehealth IoT applications,” In *Proc. of the 24th ACM International Systems and Software Product Line Conference*, 2020, pp. 120–126. <https://doi.org/10.1145/3382026.3431250>
- [11] P. Kumar, A. Singh, and A. Sengupta, “Securing cyber-resilience in healthcare sector,” In *Cyber Security in Intelligent Computing and Communications. Studies in Computational Intelligence*, vol. 1007, R. Agrawal, J. He, E. Shubhakar Pilli, and S. Kumar, Eds., Singapore: Springer, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8012-0_17
- [12] A. Boddy, W. Hurst, M. Mackay, and A. E. Rhalibi, “A study into data analysis and visualisation to increase the cyber-resilience of healthcare infrastructures,” In *Proc. of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning*, 2017, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3109761.3109793>
- [13] M. A. Allouzi and J. I. Khan, “Identifying and modeling security threats for IoMT edge network using Markov chain and common vulnerability scoring system (CVSS),” 2021, arXiv preprint arXiv:2104.11580.
- [14] A. J. Burns, M. E. Johnson, and P. Honeyman, “A brief chronology of medical device security,” *Communications of the ACM*, vol. 59, no. 10, pp. 66–72, 2016. <https://doi.org/10.1145/2890488>
- [15] L. Coventry and D. Branley, “Cybersecurity in healthcare: a narrative review of trends, threats and ways forward,” *Maturitas*, vol. 113, pp. 48–52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.04.008>
- [16] J. Beavers and S. Pournouri, “Recent cyber attacks and vulnerabilities in medical devices and healthcare institutions,” In *Blockchain and Clinical Trial. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*, H. Jahankhani, S. Kendzierskyj, A. Jamal, G. Epiphaniou, and H. Al-Khateeb, Eds., Cham: Springer, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11289-9_11
- [17] M. Farhadi, H. Haddad, and H. Shahriar, “Static analysis of HIPPA security requirements in electronic health record applications,” In *Proc. of IEEE International Computer Software and Applications Conference*, 2018, pp. 474–479. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2018.10279>
- [18] R. Ross, V. Pillitteri, R. Graubart, D. Bodeau, and R. McQuaid, “Developing cyber resilient systems: a systems security engineering approach,” Technical Report NIST, 2021. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-160v2r1>
- [19] G. O’Brien, S. Edwards, K. Littlefield, N. McNab, S. Wang, and K. Zheng, “Securing wireless infusion pumps in healthcare delivery organizations,” NIST Special Publication, National Institute of Standards and Technology, 2018. [Online]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1800-8.pdf>
- [20] M. Scholl, K. Stine, J. Hash, P. Bowen, A. Johnson, C. D. Smith, and D. I. Steinberg, “An Introductory Resource Guide for Implementing the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) Security Rule,” Technical Report NIST SP 800-66r1, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2008. [Online]. Available: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=890098
- [21] R. Ross, R. Graubart, D. Bodeau, and R. McQuaid, “Systems security engineering cyber resiliency considerations for the engineering of trustworthy secure systems,” Technical Report NIST, 2018. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-160v2>
- [22] S. G. Langer, “Cyber-security issues in healthcare information technology,” *Journal of Digital Imaging* vol. 30, no. 1, pp. 117–125, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10278-016-9913-x>
- [23] R. Rosenbacke, Å. Melhus, M. McKee, and D. Stuckler, “How explainable artificial intelligence can increase or decrease clinicians’ trust in AI applications in health care: Systematic review,” *JMIR AI*, vol. 3, e53207, 2024. <https://doi.org/10.2196/53207>
- [24] H. N. Fakhouri, S. Alawadi, F. M. Awayseh, F. Alkhabbas, and J. Zraqou, “A cognitive deep learning approach for medical image processing,” *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, pp. 1–17, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55061-1>
- [25] O. Kostopoulou and B. Delaney, “AI for medical diagnosis: does a single negative trial mean it is ineffective?” *The Lancet Digital Health*, vol. 7, no. 2, pp. e108–e109, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.landig.2025.01.005>
- [26] P. Jayakumar, K. D. Oude Nijhuis, J. H. Oosterhoff, and K. J. Bozic, “Value-based Healthcare: Can Generative Artificial Intelligence and Large Language Models be a Catalyst for Value-based Healthcare?” *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 481, no. 10, pp. 1890–1894, 2023. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002854>
- [27] Y. Lu and A. Wang, “Integrating language into medical visual recognition and reasoning: A survey,” *Medical Image Analysis*, vol. 102, 103514, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.media.2025.103514>
- [28] A. I. Newaz, A. K. Sikder, M. A. Rahman, and A. S. Uluagac, “A survey on security and privacy issues in modern healthcare systems: Attacks and defenses,” *ACM Transactions on Computing for Healthcare*, vol. 2, no. 3, pp. 1–44, 2021. <https://doi.org/10.1145/3453176>
- [29] K. Rindell, J. Ruohonen, J. Holvitie, S. Hyrynsalmi, and V. Leppänen, “Security in agile software development: A practitioner survey,” *Inf Softw Technol* 131:106488, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106488>
- [30] A. Serhane, M. Raad, R. Raad, and W. Susilo, “PLC code-level vulnerabilities,” in *Proc. of IEEE International Conference on Computer and Applications (ICCA)*, 2018, pp. 348–352. <https://doi.org/10.1109/COMAPP.2018.8460287>
- [31] E. Marin, D. Singelée, B. Yang, V. Volski, G. A. Vandenbosch, B. Nuttin, and B. Preneel, “Securing wireless neurostimulators,” In *Proc. of the eighth ACM conference on data and application security and privacy*, 2018, pp. 287–298. <https://doi.org/10.1145/3176258.3176310>

Analysis of Large Language Models for Centralized Processing of Medical Data

Vilayat Valiyev¹, Nuran Abdullayev², Cavid Abbasli³

¹Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

²Department of Radiology and Neuroradiology, GFO Clinics Troisdorf, Academic Hospital of the Friedrich-Wilhelms-University Bonn, Troisdorf, Germany

³Institute of Biomedical Engineering, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

¹rector@aztu.edu.az, ²nuran.abdullayev@gfo-kliniken-troisdorf.de, ³cavid.abbasli@aztu.edu.az

Abstract. With the rapid expansion of the medical information ecosystem, systematic processing of large-scale and heterogeneous medical data is essential for optimizing diagnosis, monitoring, and treatment protocols for complex neurological and oncological conditions such as tumor pathologies and ischemic stroke. Accurate evaluation of these diseases relies on the integration of structured and unstructured data sources, including electronic health records, genomic profiles, radiological images, and laboratory results. Transformer-based Large Language Models (LLMs) have significantly advanced natural language processing (NLP), enabling semantic interpretation of clinical texts. These models support the contextual understanding of histopathological descriptions, clinical protocols, contributing to the refinement of diagnostic algorithms in oncology and stroke. This article examines the architectural features, benefits, limitations, and future potential of LLMs in centralized medical data analysis. The aim is to enhance the role of LLMs as accurate analytical tools in clinical decision-making and to foster the development of personalized medical services.

Keywords: Large Language Models (LLMs), tumor pathologies, ischemic stroke, multimodal medical data, clinical decision support systems

I. INTRODUCTION

Breast cancer is the most common type of cancer among women worldwide, with approximately 2.3 million new cases diagnosed in 2022 [1]. As breast cancer treatments become increasingly complex and the volume of medical literature and clinical guidelines continues to grow, artificial intelligence (AI) tools can assist healthcare professionals in synthesizing information and making informed treatment decisions.

Ischemic stroke is one of the leading causes of death and disability globally. More than 7.6 million people suffer ischemia-related strokes, accounting for approximately 70% of all stroke cases worldwide [2]. Patients often present to the hospital days after the onset of neurological symptoms related to ischemic stroke. Timely identification of stroke onset is critical for therapeutic decision-making, as brain tissue preservation is only possible within a narrow therapeutic window.

In the absence of perfusion imaging, certain magnetic resonance imaging (MRI) findings can help estimate the timing of ischemic strokes. Sequence-specific MRI techniques—particularly apparent diffusion coefficient (ADC) mapping, diffusion-weighted imaging (DWI), and fluid-attenuated

inversion recovery (FLAIR) sequences—are useful in estimating the relative age of a stroke.

The use of medical imaging, particularly MRI, continues to rise across healthcare systems and is expected to increase further in the coming years. However, this growing demand for imaging is unlikely to be met with a proportional increase in the number of radiologists. Consequently, radiology departments may face increased pressure, leading to prolonged response times and a higher rate of diagnostic errors. To address these challenges, AI is increasingly being adopted to streamline radiology workflows, especially in time-sensitive domains such as stroke diagnosis [3-7].

Given these challenges and opportunities, large language models (LLMs) integrated into platforms such as **ChatGPT** by OpenAI have demonstrated potential in understanding, processing, and generating clinical recommendations based on medical data across various fields. **GPT-4**, in particular, can generate and comprehend human-like text and has been trained on a broad range of journals and online content. A significant advancement of GPT-4 over its predecessors is its ability to analyze images and PDF files, which is particularly beneficial for processing large and structured medical datasets.

One of GPT-4's most important improvements is its capacity to interpret and analyze medical images—a feature that is especially relevant in **neuroradiology**, where multiple MRI sequences are routinely used. This raises the question: *Can GPT-4 assist in time-critical and nuanced tasks such as estimating the onset time of a stroke by detecting subtle temporal changes in tissue appearance and structure?*

To enhance GPT-4's capabilities, it can be trained to recognize visual characteristics of **ischemic stroke lesions** and **mammography findings** at various stages. This is made possible through **Retrieval-Augmented Generation (RAG)**, a method that incorporates external resources (such as online datasets and relevant journal content) into the model's training and reasoning process.

In November 2023, OpenAI introduced **custom GPT-4 models**—specialized versions of GPT-4 fine-tuned for specific tasks. In this study, we analyze two such RAG-enhanced models: **NeuroRadReport** (focused on ischemic stroke imaging) and **MammaBoardGPT** (focused on breast cancer imaging). To improve MammaBoardGPT's performance, we

employed a **few-shot learning** approach, which enables the model to perform tasks effectively after being trained on only a small number of examples.

II. MATERIALS AND METHODS

This study presents two specialized general-purpose large language models (LLMs): **NeuroRadReport** and **MammaBoardGPT**. These models are built on the GPT-4 framework and are capable of integrating both visual inputs and textual data. The **NeuroRadReport** model is designed for analyzing and reporting brain MRI scans for the purpose of ischemic stroke diagnosis, while the **MammaBoardGPT** model employs Retrieval-Augmented Generation (RAG) technology to support decision-making in the diagnosis and treatment of breast cancer.

NeuroRadReport was trained to identify signal characteristics within MRI sequences relevant to estimating stroke onset time. These sequences include **diffusion-weighted imaging (DWI)**, **apparent diffusion coefficient (ADC) maps**, and **fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR)** images. The diagnostic capabilities of the NeuroRadReport tool were evaluated in a retrospective observational study using two validation datasets:

1. Validation Dataset 1 – Consisted of 20 fully anonymized retrospective cases from GFO Kliniken Troisdorf, Germany, involving patients admitted with suspected stroke between January 1, 2023, and October 20, 2024.

2. Validation Dataset 2 – Included 100 fully anonymized retrospective stroke-confirmed cases from the University Hospital of the Technical University of Munich. These cases are part of the **ISLES 2022 challenge** core dataset and have been previously published [8,9]. The ISLES challenge aimed to develop and benchmark algorithmic methods capable of automatic, accurate, and robust segmentation of stroke lesions.

This paper focuses specifically on analyzing stroke onset estimation using the GPT-4-based model.

Patients included in the analysis represented both sexes, various age groups, and diverse ethnic backgrounds. All cases were confirmed as ischemic stroke by a certified neuroradiologist.

Exclusion criteria were as follows:

1. Incomplete MRI datasets (e.g., missing DWI, FLAIR, or ADC sequences);
2. Low-quality MR images (e.g., motion artifacts in lesion slices);
3. Comorbid conditions that could interfere with stroke onset estimation (e.g., brain tumors, infections, hemorrhages).

The study was ethically approved by the Ärztekammer Nordrhein Ethics Committee (Approval No. 235-2024). Due to its retrospective design, the requirement for informed consent

was waived. No personally identifiable information was introduced into the AI model.

The **NeuroRadReport** tool was queried with the following prompt: *“Identify the sequences used in the provided brain MRI scans and describe the findings in these images. Based on your analysis, where is the lesion located in the brain, and if stroke is suspected, what is the estimated time of onset (hyperacute, acute, subacute, or chronic)?”*

NeuroRadReport automatically recognized the MRI sequences (e.g., T1, T2, FLAIR, DWI) and described the lesion findings. Based on the imaging data, it identified the anatomical location of the lesion within the brain and, if stroke was suspected, estimated the stroke onset phase (hyperacute, acute, subacute, or chronic).

Before evaluating the decision-support potential of **MammaBoardGPT**, the model was trained using **Retrieval-Augmented Generation (RAG)** technology. For this purpose, the model was provided with PDF documents of the following official treatment protocols:

- **ESMO 2024** Clinical Practice Guidelines for Early-Stage Breast Cancer[9]
- **ESMO 2021** Guidelines for the Management of Metastatic Breast Cancer[10]
- **NICE 2017:** Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Advanced Breast Cancer
- **Germany 2017:** Evidence-Based National Guidelines for Early Detection, Diagnosis, Treatment, and Follow-Up of Breast Cancer
- **St. Gallen 2023:** Key Recommendations on Radiotherapy from the 18th International Breast Cancer Conference
- Five additional peer-reviewed scientific articles [11]

For initial training, five clinical cases from **GFO Kliniken** were provided, each containing a fully documented tumor board decision. These cases were used to facilitate **few-shot learning**, allowing the model to learn how to generate treatment recommendations based on structured expert decisions.

Subsequently, the model was tested using an additional **25 clinical cases**, for which it generated its own treatment suggestions based on the provided guidelines. Importantly, the tumor board decisions for these 25 test cases were **not** disclosed to the model during inference.

The **GPT model** was configured to deliver treatment recommendations based solely on the clinical and diagnostic information presented for each patient. At no point was the model given access to any personally identifiable information. All inputs were fully anonymized, ensuring data privacy and

compliance with ethical standards. The overall workflow of the study is presented in Fig.1.

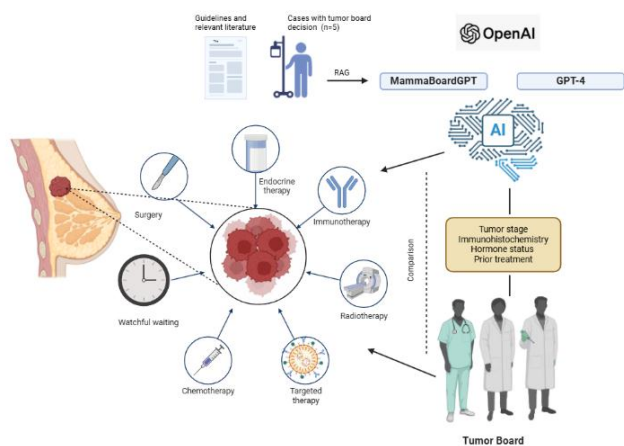


Figure 1. Both the fine-tuned MammaBoardGPT and the baseline (non-fine-tuned) GPT-4 model, as well as the GFO Kliniken Troisdorf tumor board, were evaluated in their ability to recommend the most optimal treatment plan for a cohort of consecutive breast cancer patients.

III. CONCORDANCE BETWEEN MAMMABOARDGPT AND TUMOR BOARD DECISIONS

The level of agreement between MammaBoardGPT, baseline GPT-4, and the tumor board was assessed before and after the application of recursive prompting and is presented in **Figure 2**. The comparison of MammaBoardGPT's recommendations with the tumor board's decisions for 25 anonymized patients revealed the following results:

- **Full Concordance:** MammaBoardGPT's treatment recommendations were completely aligned with those of the tumor board. This occurred in 60% of cases ($n = 15/25$) before recursive prompting and 84% ($n = 21/25$) after recursive prompting.
- **Partial Concordance:** MammaBoardGPT's recommendations were generally consistent with the tumor board's decisions but differed in specific details such as drug selection, dosage, or adjunct therapies. This was observed in 32% of cases ($n = 8/25$) before prompting and 16% ($n = 4/25$) after prompting.
- **Complete Discordance:** In these cases, MammaBoardGPT suggested treatment plans that significantly diverged from those of the tumor board, often due to differences in guideline interpretation or limitations in the model's clinical contextualization. This occurred in 8% of cases ($n = 2/25$) prior to recursive prompting and 0% ($n = 0/25$) afterwards.

Although the application of recursive prompting improved alignment, no statistically significant difference was observed in concordance levels before and after prompting ($P = 0.11$).

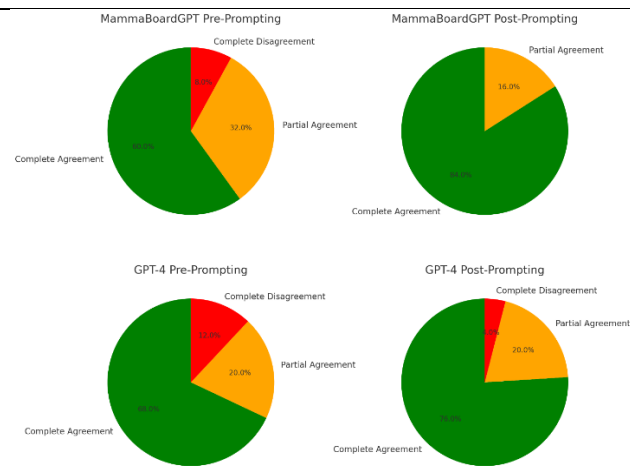


Figure 2. Comparison of agreement levels between MammaBoardGPT, GPT-4, and the Tumor Board before and after the application of recursive prompting.

Example Case 1

The first case is of an 87-year-old female diagnosed with invasive ductal carcinoma. She underwent a core biopsy of the right breast on 16 July 2024, followed by a core biopsy of the right axilla on 16 August 2024. On 20 August 2024, she underwent breast-conserving surgery without prior localization, under local anesthesia. Her pathology-report indicated she has pT2, pN+, M0 disease, with R0 resection status and no lymphovascular invasion (L0/V0). The tumor was high grade (G3), with estrogen receptor (ER) positivity at 20%, progesterone receptor (PR) negativity, HER2-negative status, and a Ki-67 proliferation index of 45%. The Tumor Board recommended endocrine therapy with an aromatase inhibitor (AI) and adjuvant radiotherapy. No chemotherapy was decided, as the patient has a significantly reduced general condition.

The ESMO guidelines highlight that AI's provide additional benefits for patients with high risk breast cancer in comparison to tamoxifen, which applies to this patient (pN+, high Proliferation Index), as they further reduce distant recurrence risk compared to tamoxifen alone.

MammaBoardGPT suggested adjuvant radiotherapy and chemotherapy, as per ESMO guidelines chemotherapy is prioritized over endocrine therapy. Upon further recursive prompting and mentioning this patient has a significantly reduced general condition MammaBoardGPT suggested adjuvant radiotherapy and endocrine therapy with an aromatase inhibitor, without chemotherapy recommendation.

Example case 2

Another case in the research involved a 90-year-old female who presented with an ipsilateral loco-regional recurrence six years after breast-conserving surgery (R0). Her initial diagnosis was pT2 N0 M0 invasive lobular carcinoma, for which she received adjuvant radiotherapy and Tamoxifen

treatment (currently ER-positive, PR-negative, and HER2-negative).

Guidelines from ESMO, NICE, and the 18th St. Gallen International Breast Cancer Consensus Conference do not recommend re-irradiation for loco-regional recurrence following initial breast-conserving surgery.

In this case, MammaBoardGPT recommended continuation of Tamoxifen treatment after radical mastectomy without radiotherapy, which is considered a reasonable alternative given the patient's advanced age and the risk of late radiation effects (e.g., damage to cardiac tissue).

The assessment of toxicity risk related to re-irradiation by an experienced radiotherapist, along with patient preferences, should guide the clinical decision-making process in such cases.

IV.CONCLUSION

It emphasizes that personalized GPT models like NeuroRadReport may contribute significantly to the diagnosis of ischemic stroke. NeuroRadReport has demonstrated strong performance in the identification of sequences and satisfactory capabilities in lesion localization, suggesting that, with further development, it could serve as a valuable support tool for radiologists—especially in settings where time and resources are limited. NeuroRadReport represents a promising step toward enhancing the radiological diagnosis of stroke and, when thoughtfully implemented in clinical practice, highlights the potential of artificial intelligence to improve patient outcomes.

Similarly, MammaBoardGPT, equipped with RAG capabilities and few-shot learning, as well as GPT-4, has shown encouraging potential as a decision-support tool during tumor board discussions for breast cancer treatment. The alignment of the model's recommendations with current clinical guidelines and tumor board decisions indicates the possibility for AI tools to enhance clinical decision-making processes in the future. However, real-time decision-making capabilities and integration into clinical practice—particularly in complex cases—require further extensive investigation.

Both studies demonstrate that customized AI models—whether NeuroRadReport in stroke diagnosis or MammaBoardGPT in oncologic decision-making—may evolve into valuable support tools in clinical settings.

These tools can assist medical teams in the identification of diagnostic sequences, analysis of lesions, and formulation of treatment plans. Nonetheless, effective implementation requires integration into the clinical context and testing under real-world conditions. Proper integration of artificial intelligence has the potential to significantly improve the quality of healthcare services and patient outcomes in the future.

REFERENCES

- [1] World Health Organization. (2024, February 1). **Global cancer burden growing amidst mounting need for services**. Retrieved from <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing-amidst-mounting-need-for-services>
- [2] World Stroke Organization. (2022). *Global stroke fact sheet*. Retrieved from https://www.world-stroke.org/assets/downloads/WSO_Global_Stroke_Fact_Sheet.pdf
- [3] Kwee TC, Kwee RM. Workload of diagnostic radiologists in the foreseeable future based on recent scientific advances: growth expectations and role of artificial intelligence. *Insights Imaging*. 2021;12(1):88. doi:10.1186/s13244-021-01031-4. PMID: 34185175; PMCID: PMC8241957.
- [4] Brady AP. Error and discrepancy in radiology: inevitable or avoidable? *Insights Imaging*. 2017;8(1):171-182. doi:10.1007/s13244-016-0534-1. PMID: 27928712; PMCID: PMC5265198.
- [5] Waite S, Scott J, Gale B, Fuchs T, Kolla S, Reede D. Interpretive error in radiology. *AJR Am J Roentgenol*. 2017;208(4):739-749. doi:10.2214/AJR.16.16963. PMID: 28026210.
- [6] Gupta R, Krishnam S, Schaefer P, Lev M, Gonzalez R. An East Coast perspective on artificial intelligence and machine learning. *Neuroimaging Clin N Am*. 2020;30(4):467-478. doi:10.1016/j.nic.2020.08.002.
- [7] Zhu G, Jiang B, Chen H, et al. Artificial intelligence and stroke imaging: A West Coast perspective. *Neuroimaging Clin N Am*. 2020;30(4):479-492. doi:10.1016/j.nic.2020.07.001. PMID: 33038998.
- [8] Hernandez Petzsche MR, de la Rosa E, Hanning U, et al. ISLES 2022: A multi-center magnetic resonance imaging stroke lesion segmentation dataset. *Sci Data*. 2022;9:762. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01875-5>.
- [9] Ge Loibl S., André F., Bachelot T., et al. (2023). Early breast cancer: ESMO Clinical Practice Guideline for diagnosis, treatment and follow-up. *Annals of Oncology*, 34(4). <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2023.04.011>
- [10] Gennari, A., André, F., Barrios, C. H., et al. (2021). ESMO Clinical Practice Guideline for the diagnosis, staging, and treatment of patients with metastatic breast cancer. *Annals of Oncology*, 32(12). <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2021.10.013>
- [11] German Guideline Program in Oncology. (2021). Evidence-based guideline for the early detection, diagnosis, treatment, and follow-up of breast cancer (Version 4.4). German Guideline Program in Oncology. AWMF-Registernummer.

Using Digital Health Technologies to Innovate Immunology and Pharmacology Education

Nadeem Fazal
Chicago State University, USA
nfazal@csu.edu

Abstract — The dynamic fields of immunology and pharmacology demand innovative educational strategies to ensure that future healthcare professionals are equipped with up-to-date knowledge and skills. In the context of digital transformation, the integration of digital health technologies offers unprecedented opportunities to enhance learning experiences. This study explores the development and implementation of digital health tools in immunology and pharmacology education, focusing on their role in improving conceptual understanding, clinical decision-making skills, and learner engagement. Pilot programs integrating virtual laboratories, AI-driven case studies, and real-time patient data simulations were conducted across undergraduate medical courses. Preliminary results indicate significant improvements in knowledge retention, critical thinking, and practical skills among students who utilized digital health-enhanced modules compared to those in traditional curricula. The findings suggest that strategic incorporation of digital health technologies can bridge the gap between theoretical knowledge and clinical practice.

Keywords — Digital Health, Immunology education, Virtual Reality, Artificial Intelligence.

I. INTRODUCTION

The education of future healthcare professionals in immunology and pharmacology is crucial for the advancement of medical science and public health. However, traditional pedagogical approaches often face limitations in delivering complex and dynamic content, resulting in reduced student engagement and suboptimal knowledge retention. The advent of digital health technologies provides new opportunities to address these challenges by enhancing interactivity, personalization, and accessibility in education. In the context of Industry 4.0, it is imperative to explore how digital health tools can be effectively integrated into the medical curriculum to prepare students for a digitally transformed healthcare environment. This paper examines the evolution of digital tools in U.S. medical curricula, presents a case study of their application at Chicago State University, explores future pedagogical directions, and proposes strategic initiatives tailored to Azerbaijan's emerging digital infrastructure [1-4].

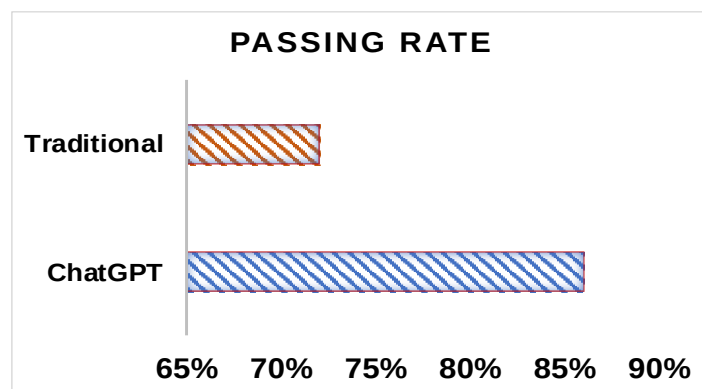


Figure 1: Passing rate.

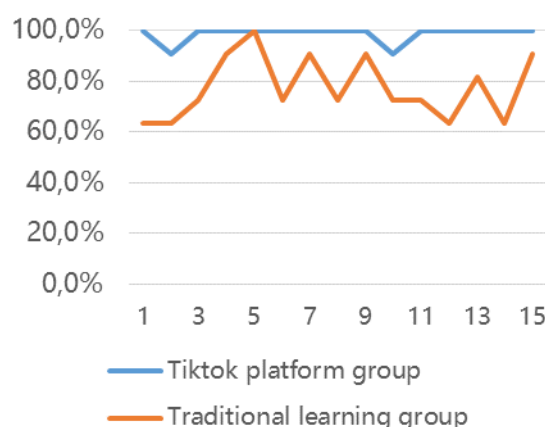


Figure 2: Exam results.

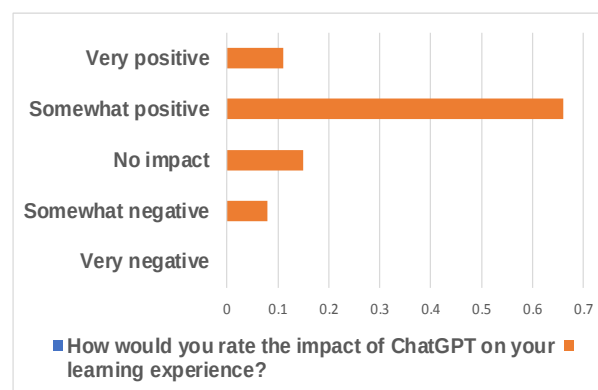


Figure 3: Survey.

II. HISTORICAL EVOLUTION OF DIGITAL MEDICAL EDUCATION IN THE UNITED STATES

Digital health technologies encompass a wide range of tools including e-learning platforms, artificial intelligence systems, virtual reality simulations, and telemedicine modules. Studies have shown that these technologies can significantly enhance the quality of medical education by offering interactive, immersive, and adaptive learning experiences. In immunology education, digital simulations enable students to visualize complex immune interactions and response dynamics that are otherwise difficult to comprehend through static textbooks. Similarly, pharmacology education benefits from virtual laboratories where students can simulate drug metabolism, predict pharmacokinetic profiles, and understand dose-response relationships. Despite these advancements, gaps remain in curriculum integration, staff training, and resource availability, necessitating further investigation into the effective application of digital health tools.

The rapid digital transformation across the healthcare sector offers significant opportunities to enhance the education of future healthcare professionals. Immunology and pharmacology, two complex and dynamic fields, especially benefit from innovative teaching methodologies supported by digital health technologies. Our experience demonstrates that integrating a variety of digital tools such as ChatGPT, VR, LinkedIn, Instagram, TikTok, and virtual laboratories into the curriculum greatly enhances student engagement, conceptual understanding, and clinical decision-making skills.

The integration of digital technologies into medical education in the United States has evolved over several decades, reflecting broader trends in healthcare digitalization and technological innovation.

The earliest steps toward digital health education can be traced back to the 1960s and 1970s, when computer-assisted instruction (CAI) programs were first introduced in American medical schools. These early systems, such as the PLATO (Programmed Logic for Automatic Teaching Operations) project at the University of Illinois, offered basic tutorials and quizzes but were limited by the available technology and high costs.

During the 1980s and 1990s, the personal computer revolution accelerated the adoption of digital tools. Medical schools began incorporating CD-ROM-based learning modules, including pharmacology atlases and immunology tutorials. Institutions such as Harvard and Johns Hopkins were among the first to pilot computer-based simulations for clinical case scenarios, which laid the groundwork for more interactive digital learning.

The late 1990s and early 2000s saw the emergence of Learning Management Systems (LMS) like Blackboard and WebCT. These platforms allowed universities to organize online courses, distribute learning materials, and create virtual discussion forums. Importantly, during this period, online databases like PubMed and UpToDate revolutionized how medical students accessed current research, especially in rapidly evolving fields like immunology and pharmacology.

The 2000s to 2010s marked a transformative period as internet speed and mobile technology improved. Medical

education embraced e-learning platforms, webinars, virtual patient simulations, and online certification courses. Schools such as Stanford, Duke, and the University of Pennsylvania launched pioneering programs that blended traditional lectures with digital case-based learning. Digital anatomy labs and pharmacology simulators became increasingly common, replacing some traditional cadaver-based or textbook-only education.

By the mid-2010s, advances in artificial intelligence (AI) and virtual reality (VR) began influencing medical training. Immersive technologies such as VR anatomy simulations and AI-based adaptive learning systems were introduced to enhance understanding of complex subjects, including immunological mechanisms and pharmacological interactions. Projects like Harvard's HMX Online Learning in Immunology showed the potential for delivering high-level content remotely with interactive, multimedia-rich formats.

The COVID-19 pandemic (2020-2022) represented a critical turning point. With in-person education disrupted, U.S. medical schools rapidly scaled up the use of tele-education, remote simulation laboratories, and virtual clerkships. The pandemic highlighted both the necessity and the feasibility of fully digital medical education, accelerating the long-term adoption of digital tools.

Today, U.S. medical education continues to evolve, with widespread integration of AI tutoring systems, wearable technology for clinical monitoring, blockchain credentialing, and social media microlearning. Institutions now emphasize digital health literacy as a core competency, ensuring that graduates are prepared for a healthcare environment shaped by electronic health records, telemedicine, big data analytics, and patient-centered technology solutions.

III. CASE STUDY: DIGITAL ENHANCEMENTS AT CHICAGO STATE UNIVERSITY

Traditional educational approaches often face limitations in effectively conveying the dynamic interactions within the immune system or the pharmacokinetics of drugs. Recognizing these challenges, we implemented a series of digital interventions within undergraduate courses at Chicago State University. Students interacted with VR simulations to explore immune responses and drug interactions in a 3D environment. They used ChatGPT to receive instant feedback on complex topics, helping to clarify difficult concepts outside traditional lecture hours. Furthermore, we utilized social media platforms such as LinkedIn, Instagram, and TikTok to distribute micro-learning content and foster professional development, making learning more accessible and relatable to the digital-native student body [1].

Students were divided into two groups: one following traditional instruction and the other experiencing the digital health-enhanced modules. Using virtual laboratories, AI-driven clinical decision-making platforms, and gamified mobile applications, students in the digital group exhibited a significant improvement in post-test scores compared to the control group. Most students found the use of these tools enhanced their understanding of immunology and pharmacology topics. In particular, the use of VR simulations helped students better grasp the spatial and

dynamic aspects of immune mechanisms and drug actions, while platforms like Instagram and TikTok kept them engaged through short, informative content.

These results underscore the transformative potential of digital health technologies in medical education. Not only do they bridge the gap between theoretical knowledge and practical application, but they also prepare students to operate proficiently within an increasingly digital healthcare landscape. Challenges remain, particularly around ensuring equitable access to technology and protecting data privacy. However, the overall positive impact on student learning outcomes indicates that strategic and thoughtful integration of digital health tools can significantly advance the quality of immunology and pharmacology education [2].

IV. FUTURE DIRECTIONS IN IMMUNOLOGY AND PHARMACOLOGY EDUCATION

Future initiatives should focus on expanding the use of augmented reality (AR), enhancing AI-driven adaptive learning systems, and conducting longitudinal studies to assess the long-term benefits of digital health interventions in medical education. By embracing these technologies, educational institutions can foster a new generation of healthcare professionals who are not only scientifically competent but also digitally fluent [5, 6].

Looking ahead, several important directions can further enhance the integration of digital health technologies into immunology and pharmacology education. One promising area is the expansion of augmented reality (AR) tools, which can provide interactive and real-world simulations of immune responses and drug-receptor interactions. Through AR, students can gain an immersive understanding of complex biological processes, far beyond what traditional diagrams or lectures can offer [7, 8].

Another essential innovation involves the development of AI-driven adaptive learning systems [9]. These platforms could personalize educational content based on each student's learning pace, knowledge gaps, and preferred learning style, creating a more efficient and targeted educational experience [10]. Alongside this, implementing blockchain technology for academic credentialing and the secure recording of learning outcomes could ensure the transparency, integrity, and security of educational achievements [11].

Incorporating wearable health devices into educational programs represents another future opportunity. By using biosensors and smart devices, students could gain hands-on experience in monitoring physiological parameters, linking theoretical knowledge directly to practical, clinical applications. This approach would also enhance students' familiarity with technologies that are increasingly used in modern healthcare settings.

To promote global perspectives and collaboration skills, establishing virtual exchange programs where students from different countries engage in joint digital case studies would be highly beneficial. Such programs could foster cross-cultural understanding, teamwork, and preparation for working in globally interconnected healthcare environments.

Finally, it is critical to conduct longitudinal research to evaluate the long-term effects of digital health education on clinical competencies, decision-making, and professional

development [12, 13]. In parallel, interdisciplinary collaborations between educators, healthcare providers, engineers, and technology developers should be strengthened to design innovative and practical educational tools that meet the future needs of healthcare.

By embracing these innovations, medical education can be transformed to not only strengthen scientific competencies but also cultivate digital fluency, critical thinking, and global engagement among future healthcare professionals.

V. STRATEGIC INITIATIVES FOR AZERBAIJAN

Azerbaijan, with its growing commitment to healthcare modernization and digital transformation, has a unique opportunity to lead innovative changes in medical education, particularly in the fields of immunology and pharmacology. Future initiatives could focus on several strategic areas.

First, the development of national VR and AR platforms in the Azerbaijani language could support interactive, culturally relevant simulations of immune system functions, drug mechanisms, and clinical scenarios. Creating local content would ensure that students across the country — regardless of language barriers — can access advanced educational tools.

Second, the integration of AI-powered adaptive learning platforms customized to the Azerbaijani medical education curriculum could help tailor teaching to individual student needs, thereby improving learning outcomes across diverse regions and universities [14].

Third, given Azerbaijan's increasing digital infrastructure, expanding tele-education programs would allow students from rural and remote areas to access high-quality immunology and pharmacology training. This could include virtual classrooms, online laboratories, and real-time mentorship by national and international experts. Additionally, Azerbaijan could pioneer the use of wearable technology in education by collaborating with local tech companies. Students could gain real-time experience by monitoring biological markers during pharmacological experiments or immunological case studies, linking practical data analysis to theoretical knowledge [15].

Blockchain-based academic credentialing could be introduced to securely store and verify student achievements, research projects, and clinical training records. This would ensure transparency, integrity, and international recognition of Azerbaijani medical education credentials.

Another important step could involve the strategic use of social media platforms like Instagram, TikTok, and LinkedIn to distribute short, science-based educational videos in Azerbaijani and English, promoting medical literacy, engaging the new generation of students, and building professional networks nationally and internationally [16, 17].

Moreover, establishing regional centers for digital medical education excellence in Baku and major cities like Ganja, Sumqayıt, and Nakhchivan could serve as hubs for innovation, research, and faculty development in digital health education.

Finally, international virtual exchange programs could be created, allowing Azerbaijani medical students to collaborate with peers from Europe, Turkey, and Central Asia on global health case studies, thereby strengthening cross-border academic ties and preparing students for global healthcare challenges. By implementing these forward-thinking strategies, Azerbaijan can position itself as a regional leader in digital medical education, ensuring that its future healthcare professionals are scientifically skilled, digitally competent, and globally connected.

CONCLUSION

Digital health technologies have evolved from rudimentary CAI programs to sophisticated AI, VR/AR, and blockchain solutions that profoundly reshape medical education. The United States' multi-decade integration journey highlights both the potential and the challenges of these tools. Our Chicago State University case study demonstrates significant gains in engagement, understanding, and clinical decision-making when digital modules complement traditional instruction. As we look to the future—expanding AR, refining adaptive AI, embracing blockchain, incorporating wearables, and fostering global exchanges—educators must pair innovation with rigorous evaluation to ensure lasting impact. By implementing these strategies, Azerbaijan and other nations can cultivate a new generation of healthcare professionals who are not only scientifically adept but also digitally fluent and globally connected.

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to acknowledge and thank the students who took the time to participate in these studies.

ABOUT THE AUTHOR

Nadeem Fazal is Professor at Chicago State University. He is a member of the American Association of Immunologists (AAI) and American Society for Microbiology (ASM). His areas of expertise include Immunology, Microbiology, Cell Biology, and Infectious Diseases.

REFERENCES

- [1] Fazal, N., & Graefen, B. (2024). Cinemimmunology: The Power Of Movies In Immunology Education. *European Journal of Public Health Studies*, 8(1).
- [2] Fazal, N., Qasmieh, S., & Graefen, B. (2023). Trick or Treat-Use of ChatGPT in Education. *The Journal of Immunology*, 210(Supplement_1), 232-01.
- [3] Graefen, B., & Fazal, N. (2023). Innovation vs. tradition: Microbiology textbooks in the age of technology. *European Journal of Alternative Education Studies*, 8(3).
- [4] Graefen, B., & Fazal, N. (2023). Revolutionizing education through Instagram in the post-Covid era. *European Journal of Education Studies*, 10(8).
- [5] Lohitharajah, J., & Youhasan, P. (2022). Utilizing gamification effect through Kahoot in remote teaching of immunology: Medical students' perceptions. *Journal of Advances in Medical Education & Professionalism*, 10(3), 156.
- [6] Lyles, C. R., Wachter, R. M., & Sarkar, U. (2021). Focusing on digital health equity. *Jama*, 326(18), 1795-1796.
- [7] Stranford, S. A., Owen, J. A., Mercer, F., & Pollock, R. R. (2020). Active learning and technology approaches for teaching immunology to undergraduate students. *Frontiers in public health*, 8, 114.
- [8] Zhang, L., Bowman, D. A., & Jones, C. N. (2019). Enabling immunology learning in virtual reality through storytelling and interactivity. In *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications and Case Studies: 11th International Conference, VAMR 2019, Held as Part of the 21st HCI International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part II 21* (pp. 410-425). Springer International Publishing.
- [9] Dahm, M. R. (2011). Exploring perception and use of everyday language and medical terminology among international medical graduates in a medical ESP course in Australia. *English for Specific Purposes*, 30(3), 186-197.
- [10] McAllister, N., Tavener-Smith, T., & Williams, J. (2022). Roots, prefixes, and suffixes: decoding medical terminology using an online enquiry-based learning intervention for nursing associates. *Teaching and Learning in Nursing*, 17(3), 256-262.
- [11] Al-Jarf, R. (2010). Teaching medical terminology with mind-mapping software. *Annals of "Dunărea de Jos" University of GALAȚI Fascicle XIII. Language and Literature. New Series*, 29, 1-10.
- [12] Haque, M. U., Dharmadasa, I., Sworna, Z. T., Rajapakse, R. N., & Ahmad, H. (2022). "I think this is the most disruptive technology": Exploring Sentiments of ChatGPT Early Adopters using Twitter Data. *arXiv preprint arXiv:2212.05856*.
- [13] Qadir, J. (2023, May). Engineering education in the era of ChatGPT: Promise and pitfalls of generative AI for education. In *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1-9). IEEE.
- [14] Zhai, X. (2022). ChatGPT user experience: Implications for education. *Available at SSRN 4312418*.
- [15] Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(1).
- [16] Ferruz, N., & Höcker, B. (2022). Controllable protein design with language models. *Nature Machine Intelligence*, 4(6), 521-532.
- [17] Zhang, C., Zhang, C., Li, C., Qiao, Y., Zheng, S., Dam, S. K., ... & Hong, C. S. (2023). One small step for generative ai, one giant leap for age: A complete survey on chatgpt in aigc era. *arXiv preprint arXiv:2304.06488*.

Süni İntellektə Əsaslanan Tibbi Diaqnostika üçün Funksional Biomarkerlərin Tətbiqi

Mətanət Baxışova¹, Leylaxanım Məlikova², Oktay Qasımov³

^{1,2,3}ETN Biofizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

²ASN Milli Onkologiya Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan

¹matanat.baxishova93@gmail.com, ²Lmelikova20027@gmail.com, ³oktaygasimov@gmail.com,

Xülasə— Ağciyər xərçəngi dünyada bədxassəli şiş xəstəliklərindən ölüm hallarında əsas yeri tutur. Bu baxımdan erkən diaqnoz ağciyər xərçəngi xəstələrinin sağ qalma faizini artırmaq üçün çox vacibdir. Ağciyər xərçəngi üçün effektiv və qəbul edilmiş skrining üsulları mövcud deyil. Skrining metodu qeyri-invaziv, sürətli və ucuz başa gəlməlidir. Əvvəlki tədqiqatda venoz qan nümunələrindən istifadə etməklə xərçəng xəstəliyinin süni intellekt əsasında klassifikasiyası verilmişdir. Süni intellekt əsasında daha etibarlı və geniş məlumatlar əldə etmək məqsədilə insan sağlam və karsinoma ağciyər hüceyrələrindən ekstraksiya edilmiş lipidlərin temperaturdan asılı fərqli faza keçidləri FÇİQ spektroskopiyası ilə təyin edilmişdir. Nəticələr sağlam və xərçəng ağciyər lipidlərinin faza keçidlərinin bir-birindən fərqləndiyinin, 37 °C-də isə bu fərqlərin kəskin olduğunu nümayiş etdirir. Bu cəhətdən təyin edilən yeni biomarkerlər funksional xarakter daşıyır. Belə ki, temperaturdan asılı olan bu parametrlər birbaşa hüceyrə funksiyası ilə əlaqədardır. Bu məlumatların süni intellekt əsaslı maşına daxil edilməsi ilə diaqnozun dəqiqliyinin artmasına gətirib çıxaracağı gözlənilir.

Açar sözlər— süni intellekt, qeyri-invaziv biopsiya, FÇİQ, ağciyər xərçəngi, fərdi təbabət, biomarkerlər

I. GİRİŞ

21-ci əsrdə insan həyatı süni intellektə inteqrasiya olunur və bu tendensiya tibb sahəsini də əhatə edir. Proqnozlar və avtomatlaşdırma üçün istifadə olunan kompüter elminin bir qolu və ağıllı davranışın simulyasiyası olan süni intellekt, səhiyyədə bir sıra prosesləri yaxşılaşdırmaq və dəqiqliyi artırmaq üçün potensial həll yolu kimi ortaya çıxmışdır [1]. Süni intellekt son on ildə müxtəlif biotibbi problemlərin, o cümlədən xərçəngin həllinə mühüm töhfə verib.

2022-ci ildə 20 milyona yaxın yeni xərçəng hadisəsi müşahidə edilmişdir. Bundan əlavə xərçəngdən 9,7 milyon ölüm faktı qeydə alınmışdır. Ağciyər xərçəngi 2022-ci ildə ən çox diaqnoz qoyulan xərçəng növü olub. Beləki, 2,5 milyon yeni hadisəyə rast gəlinib və bu statistika dünyada hər səkkiz xərçəngdən birinin (dünya üzrə bütün xərçənglərin 12,4%-i) ağciyər xərçəngi olmasını deməyə imkan verir. Ağciyər xərçəngi həmçinin xərçəngdən ölüm hallarının əsas səbəbi olub, təqribən 1,8 milyon ölüm (18,7%) müşahidə olunmuşdur [2]. Bütün bu statistikanı nəzərə alsaq ağciyər xərçənginin vaxtında diaqnoz edilməsinin əhəmiyyətinin böyük olduğunu söyləyə bilərik.

Ağciyər xərçəngi diaqnozu qoyulan xəstələrin əksəriyyəti gecikmiş mərhələdə təyin olunur və buna görə də 5 il yaşama proqnozu aşağıdır [3, 4].

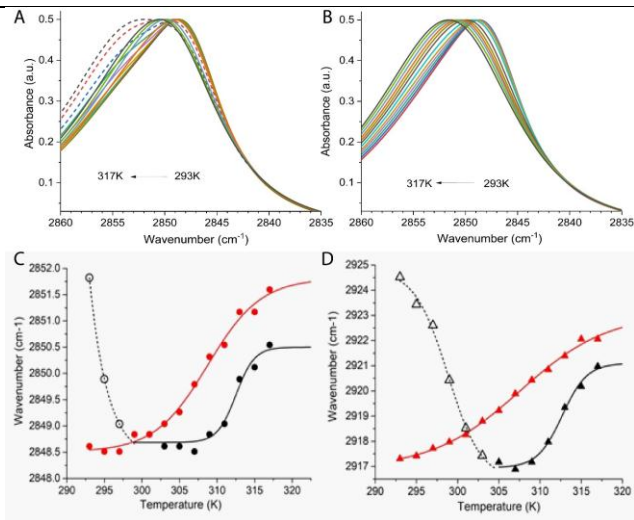
Ağciyər xərçənginin heterogenliyi onu süni intellekt tətbiqi üçün ən yaxşı sahəyə çevirir. Skrining metodunun geniş miqyasda tətbiqi üçün o, ucuz və sürətli olmalıdır. İnkişaf etmiş ölkələrdə bir çox xərçəng növlərinin skrining üsullarından geniş istifadə olunur. Lakin, bu günə qədər ağciyər xərçəngini aşkar etmək üçün təsdiqlənmiş müayinə üsulu yoxdur. Hazırda dünyanın müxtəlif institutlarında bu istiqamətdə genişmiqyaslı işlər aparılır. Onların əksəriyyəti proteomik (kütlə spektrometriya) və metabolik (biokimyəvi məlumatlar) yanaşmalardan istifadə edir [5, 6]. Bu yanaşmalar bahalı və/və ya vaxt aparandır və buna görə də geniş tətbiq üçün məqbul deyil [7].

Ucuz və sürətli fəaliyyət göstərən Furiye çevirici infraqırmızı spektroskopiyaya (FÇİQ) daha çox ağciyər biopsiyasının toxuma nümunələrinə tətbiq edilir [8]. Bununla belə, müxtəlif xərçəng növlərinin diaqnozu üçün qan nümunələrinə FÇİQ tətbiqi ilə bağlı bir sıra araşdırma var. Venoz qan nümunələrinin toplanması minimal invazivdir və geniş spektrli tətbiqlərdə asanlıqla tətbiq oluna bilər.

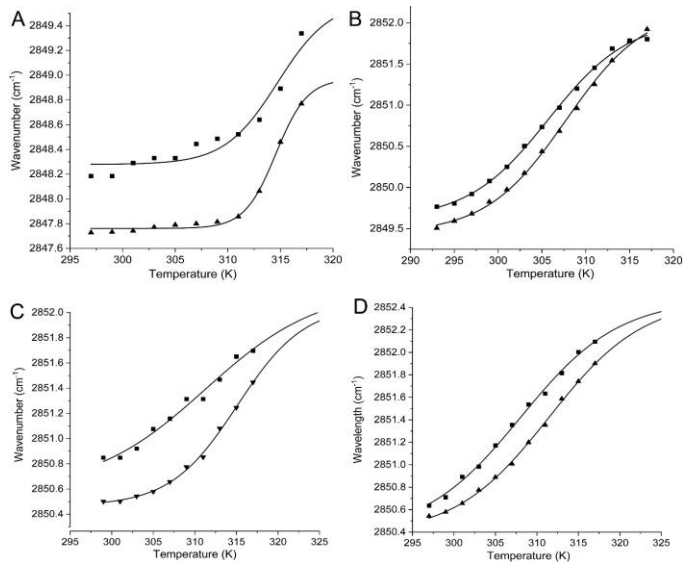
Əvvəlki tədqiqatda işimizdə süni intellektdən istifadə edərək ağciyər xərçəngi üçün potensial geniş tətbiq oluna bilən skrining metodu hazırlanmışdır. Süni intellekt əsaslı skrining metodu qan plazmasının FÇİQ spektrlərindən qurulan modelə əsaslanaraq, ağciyər xərçəngi olan şəxsləri (80-90%-ə qədər) dəqiqliklə proqnozlaşdırma bilər. Beləki, MetaboAnalyst4.0 proqramının biomarker modulunda çoxvariantlı statistik analizdən istifadə edərək ağciyər karsinoması üçün bir model yaradılmışdır. İlk məlumatlar FÇİQ spektrləri kimi yüksək ölçülü dəyişənlər üçün uyğun olan prinsipal komponent analizi (PCA), qismən ən kiçik kvadratlar diskriminant analizi (PLS-DA) və dağınıq PLS-DA (sPLS-DA) üsulları ilə tədqiq edilmiş və vizuallaşdırılmışdır.

Məlumatlar qan plazması nümunələrinin FÇİQ spektrlərindən istifadə edərək sağlam və ağciyər xərçəngi qruplarının təsnifatı üçün yaxşı proqnozu göstərir. Metod uyğun olaraq aşağıdakı prinsip əsasında işləyir (şəkil 1) [9].

Lakin ağciyər xərçənginin inkişafının hansı mərhələdə olması, differensiasiya və digər məlumatların zamanında təyin olunması ilə bağlı çətinliklər qalmaqdadır.

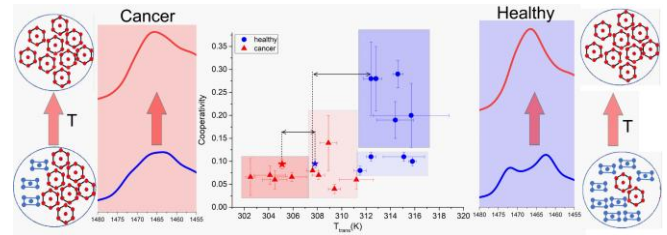


Şəkil 2. Xərçəng və qonşu normal hüceyrələrdən ekstraksiya edilən lipidlər üçün CH_2 uzanma vibrasiyasının spektral zolaqlarının temperaturdan asılılığı. (A) və (B) müvafiq olaraq sağlam və xərçəng hüceyrələri üçün müxtəlif temperaturlarda CH_2 simmetrik uzanmasının amplituda ilə normalaşdırılmış spektral zolaqlarını təmsil edir. Müxtəlif temperaturlarda CH_2 asimmetrik uzanmasının spektral zolaqları çox oxşar nəticələri göstərir və buna görə də göstərilir. (C) və (D) müvafiq olaraq CH_2 simmetrik və asimmetrik uzanmalarına uyğun gələn zolaq maksimumlarının temperaturdan asılılığını göstərir. Bütün qara dairə və üçbucaq simvolları sağlam hüceyrələri, bütün qırmızı dairə və üçbucaq simvolları isə xərçəng hüceyrələrini təmsil edir. İçi boş dairə və üçbucaq simvolları sonrakı nəticələrə uyğun gəlməyən eksperimental məlumat nöqtələrini göstərir.



Şəkil 3. Xərçəng və qonşu normal ağciyər hüceyrələrdən ekstraksiya edilmiş lipid üçün CH_2 simmetrik uzanması ilə əlaqəli vibrasiya zolaqlarının maksimumlarının temperaturdan asılılığı (sağlam və xərçəng hissələrinin nəticələri oxşar olmuşdur).

Ağciyər hüceyrələrindən ekstarksiya edilən lipidlər üçün keçid temperaturu və kooperativlik arasındakı əlaqə şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. Sağlam və xərçəng ağciyər hüceyrələrindən ekstraksiya edilən lipidlər üçün keçid temperaturu və kooperativlik dəyərləri arasında əlaqə. Mavi və açıq mavi uyğun olaraq sağlam, qırmızı və açıq qırmızı isə xərçəng hüceyrələri üçün xarakterik xüsusiyyətləri əhatə edən bölgələri təmsil edir.

Mavi sahə tam sağlam hüceyrələr kimi müəyyən edilə bilər, çünki həm keçid temperaturu, həm də kooperativlik dəyərləri üçün ən yüksək dəyərləri əhatə edir. Müvafiq olaraq, qırmızı sahə tam xəstə hüceyrələr üçün olacaq, çünki bu parametrlər üçün ən aşağı dəyərləri ehtiva edir.

Açıq mavi sahə xərçəng hüceyrələri ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək keçid temperaturunu göstərən sağlam hüceyrələr üçün məlumatları təmsil edir. Keçidlərin kooperativ dəyərləri xərçəng hüceyrələrininklərinə bənzəyir. Açıq-qırmızı sahə nisbətən yüksək keçid temperaturu dəyərlərini nümayiş etdirən xərçəng hüceyrələri (bir istisna olmaqla) üçün məlumatları göstərir. Bu məlumatlardan güman etmək olar ki, sağlam hüceyrələrdən xərçəng hüceyrələrinə keçid zamanı lipidlər əvvəlcə öz assosiasiyasını genişlədir, sonra isə gauche rotamer fraksiyasını artırır.

Ağciyərin sağlam və xərçəng hüceyrələrindən ekstraksiya edilən lipidlər üçün müşahidə edilən *trans-gauche* keçidlərindəki fərqlərin lipid yığılmasına təsir göstərəcəyini gözləmək məqsəduyğundur. CH_2 qayçı tezlikləri asil zəncirinin yığılmasına yüksək həssasdır və sağlam, xərçəng ağciyər hüceyrələrinin lipid yığılmasındakı fərqləri araşdırmaq üçün istifadə edilmişdir. Müxtəlif temperaturlarda sağlam (şəkil 5 A) və xərçəng ağciyər hüceyrələrindən (şəkil 4B) ekstraksiya edilmiş lipidlər üçün CH_2 qayçı zolaqları şəkil 4-də göstərilmişdir.

Asil zəncirinin konformasiyası onun yığılma xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir göstərir. Tamamilə *trans* konformasiya düzlüyündəki asil zəncirləri sıx qəfəsdə birləşir. Bu sıx bağlama vəziyyətində zəncirlər arasındakı qarşılıqlı təsirlər CH_2 qayçı zolaqlarının parçalanması ilə nəticələnir.

Xəstənin sağlam ağciyər hüceyrələrindən əldə olunan lipidlər təxminən $1472,1 \text{ sm}^{-1}$ və $1462,2 \text{ sm}^{-1}$ (ortorombik zəncir yığılması) ilə CH_2 qayçı zolaqlarının parçalanmasını nümayiş etdirir (şəkil 5).

Artan temperaturla bu zirvələr altıbucaqlı yığılma ilə bir pikə birləşir. 317 K -də $1466,4 \text{ sm}^{-1}$ -də dominant tək pik aydın görünür. Bu altıbucaqlı zəncirvari düzlülük molekullararası

qarşılıqlı əlaqənin itirilməsinin tək pikə gətirib çıxardığı daha az nizamlı və yüksək mobil zəncir yığılması kimi xarakterizə olunur (şəkil 5 A).

Sağlam hüceyrələrdən fərqli olaraq, 293 K-da singlet zolağının əhəmiyyətli qatqısı müvafiq xərçəng hüceyrələrində aydın görünür (şəkil 5 B). Parçalanma zolaqları mərkəzi pikin zəif çiyinlər kimi nəzərə çarpır (şəkil 5 B).

Parçalanmış komponentlərin birləşməsi, artan temperaturda xərçəng hüceyrələrinin lipid ekstraktı üçün də aydın görünür. Xərçəng hüceyrəsindən fərqli olaraq, sağlam hüceyrələrdən olan lipid ekstraktı ortorombikdən altıbucaqlı fazaya kooperativ keçidi göstərir (şəkil 5 C, D, E). CH₂ qayçı tezliklərindən əldə edilən məlumatlar lipid zəncirlərinin ortorombik və altıbucaqlı düzlüyünün birgə mövcudluğunu göstərir.

Beləliklə, lipidlərin yığılması rotamer faza keçidlərinin tendensiyasını izləyir.

IV. YEKUN

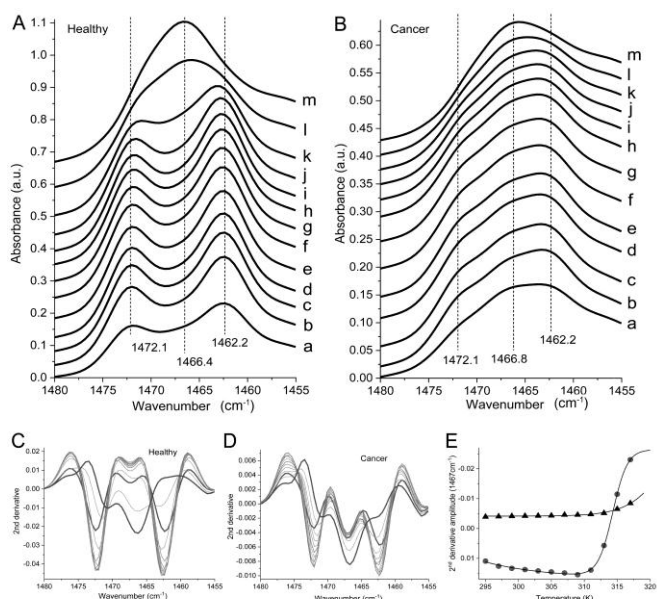
Metabolik dəyişikliklər və onkogen mutasiyalar arasında qarşılıqlı əlaqə yaxşı araşdırılmışdır [14]. Lakin, molekulyar və ya hüceyrə səviyyəsində metabolik dəyişikliklərin onkogen mutasiyaların əmələ gəlməsinə təkan verdiyini göstərən birbaşa sübutlara ədəbiyyatlarda rast gəlinmir.

Bu baxımdan CH₂ simmetrik və asimmetrik uzanmaya uyğun gələn FÇİQ zolaqları, eləcə də CH₂ qayçı zolaqları ağciyər xərçəngi toxumasını müəyyən etmək üçün diaqnostik vasitələr kimi əhəmiyyətli potensiala malikdirlər. Trans konformerlər enerji baxımından əlverişlidir və buna görə də əsasən həm sağlam, həm də xərçəng hüceyrələrindən ekstraksiya edilən lipidlərdə mövcuddur. Bununla belə, asil zəncirinin qarşılıqlı təsirləri və düzülmə xassələrindəki fərqlərə görə, təxminən 310 K-də *gauche* rotamerləri əsasən xərçəng hüceyrələrindən olan lipidlərdə mövcuddur. Bunun əksinə olaraq, sağlam hüceyrələrdən olan lipidlər bu temperaturda trans konformer vəziyyətini qismən saxlayır. Bu tapıntıları əsaslanaraq, müxtəlif toxuma növləri üzrə 310 K-da aparılan FÇİQ ölçmələrinin onların diaqnostik faydasını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq potensialına malik olduğu qənaətinə gəlinir.

Bu araşdırmada sağlam morfolojiyə malik bəzi hüceyrələrin maddələr mübadiləsi (lipid baxımından) kimi xərçəngə malik olduğunu göstəririk. İnsan ağciyər xərçəngi və normal hüceyrələrdən ekstraksiya edilən lipidlərin struktur keçid xüsusiyyətlərinin müqayisəsi, metabolik dəyişikliklərin xərçəng inkişafında morfoloji dəyişikliklərdən əvvəl ola biləcəyini güclü şəkildə göstərir. Demək olar ki, bütün xərçəng növləri və metabolik xəstəliklər lipid dəyişikliklərini nümayiş etdirir. Buna görə də hüceyrə lipidlərinin struktur xüsusiyyətləri həm xərçəng, həm də metabolik inkişaf və irəliləmələrin etibarlı göstəricisidir.

Beləliklə, epigenetik dəyişikliklər (məsələn, metilləşmə, histon asetilasiyası) və ya genomun kodlaşdırılmayan bölgələrindəki mutasiyalar nəticəsində yaranan metabolik dəyişikliklər kodlaşdırma bölgələrində onkogen mutasiyaya səbəb ola bilər. Hüceyrə səviyyəsində metabolik profiləşdirmə, morfoloji analizə əlavə olaraq, xərçəng diaqnostikasında dəyərli köməkçi olacaqdır.

Alınan nəticələr göstərir ki, insan toxumasından əldə olunan lipidlərin gələcəkdə qan plazmasından əldə olunan lipidlərlə əvəz edilməsi və eləcə də FÇİQ spektrlərinə əsaslanan Süni İntellekt əsaslı maşın yüksək risk altında olan şəxslərin müəyyən edilməsi üçün geniş yayılmış skrining metodu kimi hazırlana bilər. Bu müayinə üsulu sürətli, minimal invaziv və ucuzdur.



Şəkil 5. Ağciyər toxumalarından ekstraksiya edilən lipidlər üçün CH₂ qayçı vibrasiyasının spektral zolaqlarının temperaturdan asılılığı. (A) və (B) müvafiq olaraq sağlam və xərçəng hüceyrələri üçün müxtəlif temperaturlarda qeydə alınmış CH₂ qayçı tezliklərinə uyğun spektral zolaqları təmsil edir. (a) ilə (m) arasındakı hərflər 2K artımla artan 293K ilə 317K arasında olan temperatur dəyərlərini təmsil edir. (C) və (D) müvafiq olaraq (A) və (B)-nin ikinci törəməsini təsvir edir. Yuxarıdan aşağıya təxminən 1466,4 sm⁻¹-də olan aşağıya doğru zirvələr 293K ilə 317K arasında olan temperaturlara uyğundur. (E) ikinci törəmə spektrlərin (C və D) amplitudlarının (1466,4 sm⁻¹-dən götürülmüş) temperaturdan asılılığıdır. İçi dolu dairə və üçbucaq simvolları uyğun olaraq sağlam və xərçəng hüceyrələrini təmsil edir.

İSTINADLAR

- [1] Le Cun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521:436-444
- [2] Freddie Bray , Mathieu Laversanne, Hyuna Sung, Jacques Ferlay, Rebecca L.Siegel, Isabelle Soerjomataram, Ahmedin Jemal, Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries, *CA Cancer J Clin*. 2024;74:229–263.
- [3] Luo, Y.H.; Chiu, C.H.; Scott, Kuo, C.H.; Chou, T.Y.; Yeh, Y.C.; Hsu, H.S.; Yen, S.H.; Wu, Y.H.; Yang, J.C.; Liao, B.C.; et al. Lung Cancer in Republic of China. *J. Thorac. Oncol.* 2021, 16, 519–527
- [4] Cause of Death Statistics. Available online :<https://www.mohw.gov.tw/lp-4650-2.html> (accessed on 1 October 2021)
- [5] Lia, Y., Song, X., Zhao, X., Zou, L., Xu, G., Serum metabolic profiling study of lung cancer using ultra high performance liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry, *Journal of Chromatography B*, V.966, 2014, pp.147-153.
- [6] Pirman, D.A., Efu, E., Ding, X., et al. Changes in cancer cell metabolism revealed by direct sample analysis with MALDI mass spectrometry, *Plos One*, V.8, N.4, 2013, e61379R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*
- [7] Hu, J., Sun, H. Serum proton NMR metabolomics analysis of human lung cancer following microwave ablation, *Radiation Oncology*, V.13, N.40, 2018, pp.1-10.
- [8] Gajjar, K., Trevisan, J., Owens, G., et al. Fourier-transform infrared spectroscopy coupled with a classification machine for the analysis of blood plasma or serum: a novel diagnostic approach for ovarian cancer, *Analyst*, V.138, N.14, 2013, pp.3917-3926.
- [9] O.K. Gasymov, A.H. Aydemirova, L.A. Melikova, J.A. Aliyev, Artificial intelligence to classify human lung carcinoma using blood plasma FTIR spectra, *Appl. Comput. Math.*, V.20, N.2, 2021, pp.277-289
- [10] W. Szlasa, I. Zendran, A. Zalesińska, M. Tarek, J. Kulbacka, Lipid composition of the cancer cell membrane, *J. Bioenerg. Biomembr.* 52 (2020) 321–342
- [11] Bligh E.G, Dyer W.J, A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can. J. Biochem. Physiol.* 37 (1959) 911–917.
- [12] D. Borchman, M.C. Yappert, P. Herrell, Structural Characterization of Human Lens Membrane Lipid By Infrared Spectroscopy, 32 (1991) 2404–2416.
- [13] D. Borchman, M.C. Yappert, P. Herrell, Structural Characterization of Human Lens Membrane Lipid By Infrared Spectroscopy, 32 (1991) 2404–2416.
- [14] A. Le, S. Udupa, C. Zhang, The Metabolic Interplay between Cancer and Other Diseases, *Trends in Cancer* 5 (2019) 809–821. <https://doi.org/10.1016/j.trecan.2019.10.012>.

EGFR və HER2-nin Təkamüldə Qorunub Saxlanmış Farmokoloji Cəhətdən Mühüm Aminturşu Ardıcılıqlarının Kompüter Analizi

İlham Şahmuradov¹, Günay Əliyeva², Aysel Əliyeva³, Azad Əbdürəhimov⁴, Kərim Qasimov⁵

ETM Biofizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹ilhambaku@gmail.com, ²aliyeva.gunay.1986@gmail.com, ³ayselaliyeva0130@gmail.com, ⁴aazadmed@gmail.com,

⁵gasimovk@yahoo.com

Annotasiya. Tirozinkinaza reseptorlarının ErbB ailəsinin iki üzvünün, təbii formalı EGFR (1210 qalıq, GenBank: NM_005228.5) və təbii formalı HER2 reseptorunun (125G Bankendu) hüceyrəxarici domeninin (ECD) təkamüldə qorunub saxlanmış aminturşu ardıcılığı (AAA75493.1), kompüter skaninqi ilə analiz edilmişdir. EGFR-in 633 və HER2-nin 640 qalıqdan ibarət olan ECD domenində yerləşən funksional domen ardıcılıqları üzərində təkrarlanan müxtəlif aminturşu ardıcılıqlarından ibarət olan motiflər qeyd edilmişdir. Verilənlər bazasından EGFR-in 3 splay variantı HER2-nin isə mövcud olan 2000-dən artıq splay və mutant variasiyasının 30-a qədər forması araşdırılmış və 10 nümunənin ECD domeninin müqayisəli analizi aparılmışdır. Bu zülalların ECD rayonunda çoxsaylı konservativ qalıqlardan ibarət olan motiflər uyğun nahiyyələrdə mühüm ardıcılığı təşkil edirlər. Bu ardıcılıqların böyük bir hissəsi digər, qeyri siqnal zülallarında da tapılmışdır ki, bu da ErbB reseptorlar ailəsinin təkamülcə daha qədim mənşəyə malik olduğuna dəlalat edir. Bu konservativ motif ardıcılıqları spesifik insanınkıləşdırılmış monoklonal anticislərin hazırlanması zamanı mühüm epitop kimi istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: ErbB reseptorlar ailəsi, tirozinkinaza, ECD kompüter skaninqi, MEME Suite, ScanProsite analizləri.

I. GİRİŞ

EGFR (HER1) və HER2 (insanın epidermal boy faktoru reseptoru – human epidermal growth factor Receptor) insanın tirozinkinaza reseptorlarının geniş öyrənilən ErbB ailəsinin dörd nümayəndəsindən ikisidir. Hər iki reseptor bu ailənin digər nümayəndələri kimi (N-sonluqlu) hüceyrəxarici domendən (ECD) transmembran spiraldan (heliks) (TMD) və hüceyrədaxili membrana yaxın domendən (JMD), kinaza domenindən (KD) və tirozin qalığı ilə zəngin C-sonluqlu quyruqdan (CTD) ibarətdir [1]. Bu ailənin üzvləri arasında HER2 yeganə reseptordur ki, onun məlum olan liqandı yoxdur, ona görə də, o liqandla induksiya olunan homodimeri əmələ gətirə bilmir. Amma, digər HER nümayəndələri liqandla birləşərkən və ya liqandsız dimerləşmə (anomaliya) zamanı onlarla asanlıqla heterodimeri əmələ gətirir və dimerdə hüceyrədaxili domendə olan tirozin qalıqlarını forsləşdirərək hüceyrədaxili siqnalın ötürülməsində mühüm rol oynayır [2–5]. HER2-nin daxil olduğu heterodimerlər arasında EGFR/HER2 və HER2/HER3 hüceyrə funksiyalarına olan təsirinə və xəstəliklərin yaranmasına görə ən uyğun dimerlərdir [6, 7].

HER ailəsinin bütün nümayəndələri yüksək dərəcədə tumorigenezlə əlaqələndirilir. Bunlardan EGFR (HER1) və HER2 şişlərin əmələ gəlməsində ən çox iştirak edən güclü onkozülallardır. Onların həddən artıq ekspressiyası (superekspressiya) süd vəzi, ağciyər və mədə-bağırsaq traktı da daxil olmaqla bir çox xərçəng növlərində iştirak edir.

HER2-nin həddindən artıq ekspressiyası süd vəzi xərçənginin və qeyri-kiçik hüceyrəli ağciyər xərçənginin (NSCLC) erkən mərhələlərində aşkar edilə bilər və metastatik xəstəliyə doğru irəliləyişdə [8–10] kritik rol oynayır, bu da HER2-nin süd vəzi xərçənginin və NSCLC karsinomasının inkişafında mühüm rol oynadığını göstərir. Nəticədə, HER2 bir çox süd vəzi və ağciyər xərçəngi xəstələrinin müalicəsində kritik bir terapevtik hədəfə çevrilə bilər.

Trastuzumab və Pertuzumab HER2-nin dörd funksional domendən (domen I, II, III və IV) ibarət olan hüceyrəxarici domeninə qarşı yönəlmiş monoklonal anticislər olub [11] hal-hazırda HER2-müsbət süd vəzi xərçəngi xəstələri üçün müalicənin ilk seçimidir. Trastuzumab kimyaterapiya ilə birlikdə tətbiq edildikdə ümumi sağ qalma ehtimalını artırır və xəstəliyin təkrarlanma riskini azaldır. Pertuzumab isə HER2-nin hüceyrəxarici II domenində dimerləşmə çiyinə birləşir [12], onun EGFR ilə dimerləşməsinə mane olaraq siqnal ötürülməsini blok edir [13].

NSCLC karsinomasının müalicəsi zamanı trastuzumaba əsaslanan kimyaterapiyanın sadə (tək) kimyaterapiyadan üstün olduğu heç də aşkar edilməmişdi, orta sağqalma müddəti müvafiq olaraq 6,1 və 7 ay olmuşdur [14–16], trastuzumab və pertuzumabla isə ikili HER2 anticism blokadasının effektivliyi məhduddur (ORR 13%-21%). Bunun əksinə, poziotinib və pirotinib kimi yeni daha selektiv HER2 tirozinkinaza inhibitorları (TKI) HER2-mutanta qarşı müalicə olunmuş NSCLC xəstələrində müvafiq olaraq 38% və 44%-ə qədər cavab nisbətlərində perspektivli fəaliyyət göstərmişdir. Ən ümidverici məlumatlar HER2-mutant NSCLC olan xəstələrdə anticism-dərman konyuqatlarını (ADC) ado-trastuzumab-emptansin və trastuzumab-deruksitekanı qiymətləndirən II faza tədqiqatlarından əldə edilmişdir, bu zaman müsbət cavab müvafiq olaraq 50% və 62% təşkil etmişdir [10].

Bununla belə, bir sıra dəlillər HER2+ olan süd vəzi xərçənginin və NSCLC ağciyər xərçənginin uğurlu anti-HER2 terapiyadan sonra da HER2 siqnal şəbəkəsindən davamlı şəkildə asılı olduğunu göstərir [10, 17], bu da çox mərhələli

HER2 blokadasının mühümlüynə əsas verir. Digər tərəfdən Yeni Nəsil Ardıcılıq oxunmasının son nailiyyətləri indi HER2-nin hədsiz dərəcədə mutasiyaya məruz qaldığını, insan xərçənglərində 2000-dən çox unikal HER2 variantlarının müşahidə edildiyini ortaya qoyur [1]. Buna görə də, kliniki seçimi genişləndirmək və anti-HER2 müalicəsinin səmərəliliyini artırmaq üçün əlavə HER2 hədəflərinin, monoklonal anticism dizaynı üçün əlavə HER2 epitoplarnın axtarılması lazımdır. Hal-hazırda, pepscan, fag nümayişi və ya mutageniz skan edilməsi kimi bəzi eksperimental yanaşmalarla birlikdə üçölçülü (3D) quruluş məlumatlarının istifadəsi epitop əsaslı peyvənd dizaynının qızıl standartıdır [18, 19].

Bu araşdırmada EGFR və HER2-nin müxtəlif variantlarında EGFR və HER3 ilə HER2-nin heterodimerləşmə zonalarının qorunub saxlanan konservativ qalıqlarının axtarılmasının və trastuzumab və pertuzumabla yanaşı yeni alternativ monoklonal anticismlərin dizaynı üçün potensial yeni epitoplarn axtarışını həyata keçirilmişdir.

II. MATERIAL VƏ METODLAR

Tədqiqat materialı kimi EGFR (HER1) və HER2 ardıcılıqları haqqında məlumatların toplanması NCBI, RCSB-PDB, EMBL-EBI tərəfindən yaradılmış AlphaFold DB, EMBL-EBI UniProt və Protein Bioinformatics Databases and Resources – PMC kimi verilənlər bazasından istifadə edilmiş və analizlər NCBI Protein BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), AlphaFold və UniProt kimi onlayn maşınlar vasitəsi ilə aparılmışdır.

Konservativ motif ardıcılıqların tapılması – identifikasiyasında üç əsas bioinformatik alət tətbiq edilmişdir:

MEME (Multiple EM for Motif Elicitation): Nukleotid ardıcılıqlarında statistik baxımdan əhəmiyyətli *de novo* motivlərin aşkarlanması üçün istifadə olunmuşdur. **Parametrlər:** Motiflərin sayı: 5 (10), uzunluq aralığı: 6–20 əc;

FIMO (Find Individual Motif Occurrences): MEME ilə aşkarlanmış motiflərin konkret ardıcılıqlarda və mövqələrdə yerləşməsini müəyyənəşdirmək üçün istifadə olunmuşdur. P-dəyəri kəsimi $1e-4$ olaraq seçilmişdir.

GLAM2: - qapalı motiflərin (insersiya və delesiyaları saxlayan) aşkarlanması məqsədilə tətbiq olunmuşdur. Bu metodla struktur variasiya göstərən, lakin funksional baxımdan əhəmiyyətli ola biləcək bölgələr müəyyən edilmişdir.

MEME Suite <https://meme-suite.org/meme/index.html> vasitəsilə aparılmışdır. MEME Suite motiflərin *de novo* aşkarlanması, məlum motiflərlə müqayisəsi və vizuallaşdırılması üçün geniş imkanlar verən bioinformatik platformadır.

Motif analizlərinin aparılması zamaqı Print və ScanProsite analizləri <https://prosite.expasy.org/scanprosite/> saytında aparılmışdır.

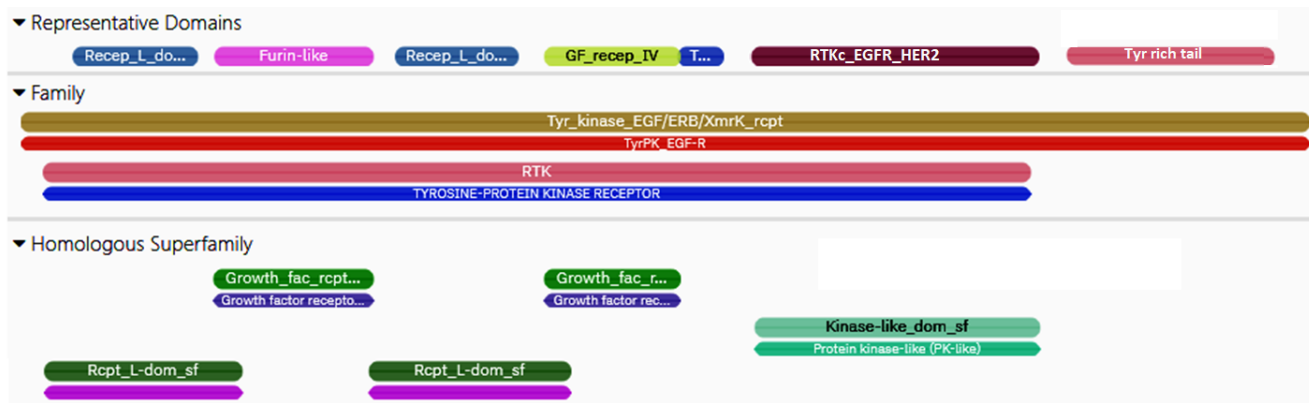
Tədqiqatlarda insanın 30-dan artıq HER2 zülal ardıcılığı (splays forma, mutasiya, insersiya və ya delesiyalı), 3 EGFR zülal ardıcılığı analiz olunmuşdur. Tədqiqat məqsədilə bu zülalların hüceyrəxarici domen (ECD) ardıcılıqlarının müqayisəli analizi aparılmışdır. Tədqiqatlarda həmçinin müqayisə üçün şimpanze, qorilla və siçanın HER2 zülalının ardıcılığı insanın HER2 zülalı ilə müqayisəli analiz edilmişdir.

III. NƏTİCƏLƏR VƏ ANALIZI

EGFR və HER2-nin kompüter skaninqi və konservativ qalıqlı motif analizi

Təbii formalı EGFR (HER1) kimi 1210 qalıqdan ibarət olan zülalın (GenBank: NM_005228.5) və HER2 zülalı kimi 1255 qalıqdan ibarət olan (GenBank: AAA75493.1) zülalın aminurşu ardıcılığı götürüldü. Analizlər EGFR-in 633 və HER2-nin 640 at qalıqından ibarət olan hüceyrəxarici domeni (ECD) hissəsində yerləşən funksional domen ardıcılıqları üzərində aparıldı (şəkil 1).

Verilənlər bazasında EGFR-in yalnız 3 variantı tapılaraq müqayisəli analiz olundu. Bunlar NM_005228.5, 1210 aat; NM_001346900, 1157at; NM_001346899.2, 1165 at ibarət olan zülallardır. HER2-nin isə mövcud olan 2000-dən artıq variasiyasının [1] 30-dan artıq forması araşdırılmış və 10 nümunənin hüceyrəxarici domeninin müqayisəli analizi aparılmışdır.



Şəkil 1. ErbB ailəsi reseptor zülalları üçün ümumi funksional domən düzlənməsi. İki hüceyrəxarici L (liqand birləşdirən) domen, iki (furinəbənzər və GF) dimerləşmə domeni ECD-ni təşkil edir.

EGFR-ın 3 variantı arasında aparılan müqayisəli analiz göstərdi ki, bu variasiyaların təbii forma ilə arasında fərqlər 1157at-dan ibarət olan zülal (NM_001346900) üçün zülalın N-sonluğunda 53 amin turşusunun itməsi ilə, digər formada, 1165 at-dan ibarət olan (NM_001346899.2) formada isə təbii formanın N-sonluq rayonundakı 143-cü amin turşusundan 187-ci at-a qədər olan ardıcılığın itirilməsi ilə baş vermişdir. Birinci halda, NM_001346900 zülalı üçün itirilən aminturşu ardıcılığı mühüm funksional xarakter daşıyan hissə və ya motif deyildir (şəkil 2). Amma ikinci zülal, NM_001346899.2 üçün bu reseptorun bilobal liqand birləşdirən saytlarından birinci L domeni daxilindədir. Bu da reseptorun liqand birləşdirmə qabiliyyətində problemin yaranmasına səbəb ola bilər. İstənilən halda reseptorun dimerləşməsi üçün mühüm rol oynayan, dimerləşmə domeni adlanan sisteinlə zəngin furinə bənzər rayonunda, xüsusilə də dimerləşmə ilgəyində mutasiyalar müşahidə edilmir. Bu domen təkamül prosesində bir sıra məməlilər arasında da konservativ olaraq qorunub saxlanılmışdır. Bununla belə, EGFR-in homodimerləşməsi üçün dimerləşmə çiyində olan ardıcılıqlar dimerləşmənin əsas aparıcılarıdır, yəni dimerləşmənin aparıcı qüvvəsinin 90%-dən çox enerjisi bu çiyində olan qalıqlar hesabınadır [20]. Bu qalıqların dimerləşmə gücü müəlliflər tərəfindən bu qalıqlarda aparılan mutasiyalar nəticəsində dəyişilmə ilə yoxlanılmışdır.

Bu səbəbdən dimerləşmə çiyinin yerləşdiyi II domen (sisteinlə zəngin furinə-bənzər domen) ardıcılıqları fatal homodimerləşmənin qarşısının alınması üçün və ya mövcud dimerin ayrılması üçün ingibirləşdirici monoklonal anticism istehsalında epitop kimi istifadə edilə bilər.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, HER2-də baş verən mutasiyaların, delesiyaların və insersiyaların daxil olduğu böyük sayda variasiyaların əksəriyyətində müşahidə olunan fərqlər hüceyrəxarici domendə (ECD) rast gəlinir (Ishiyama et al., 2023). Bizim apardığımız analizlərin demək olarki hamısında olan fərqlər ECD-də bilobal liqand birləşdirən domenlərdə (52-173 və 366-482 ardıcılıq rayonlarında) və boy faktoru reseptorunun IV hüceyrəxarici domeni ardıcılığı (511-643-cü aminturşu rayonu) daxilində müşahidə edilir (şəkil 2), daha stabil olan ikinci hüceyrəxarici domen – sisteinlə zəngin furinə-bənzər domen (189-338-ci aminturşu ardıcılığı) az dəyişikliyə məruz qalır.

HER2-nin hüceyrəxarici domeninin kompüter skaninqi və analizi çoxsaylı konservativ minturşu ardıcılıqlarından təşkil olunmuş motiflərin olduğunu aşkar edir (şəkil 3). Bu motiflərin bəziləri bir-birindən kənarda yerləşsə də bəziləri bir-birini örtür. Bəzi motiflər izə orqanizmdə olan qeyri reseptor zülallarında da müşahidə olunur. Bu da, bu zülallar arasında təkamülcə hansısa bağlılığın olduğuna dəlalət edir, hərçənd ki, bu zülallar heç də signal zülalları deyildir.

HER2-nin hüceyrəxarici domeninin kompüter skaninqi və analizi çoxsaylı konservativ minturşu ardıcılıqlarından təşkil olunmuş motiflərin olduğunu aşkar edir (şəkil 3). Bu motiflərin bəziləri bir-birindən kənarda yerləşsə də bəziləri bir-birini örtür. Bəzi motiflər izə orqanizmdə olan qeyri reseptor zülallarında da müşahidə olunur. Bu da, bu zülallar arasında təkamülcə hansısa bağlılığın olduğuna dəlalət edir, hərçənd ki, bu zülallar heç də signal zülalları deyildir.

NM_005228.5	1	MRPSGTAGAALLALLAALCPASRALEEKVKVCQGTSNKLTQLGTFEDHFLSLQRMFNNCEV	60
NM_001346899.2	1	MRPSGTAGAALLALLAALCPASRALEEKVKVCQGTSNKLTQLGTFEDHFLSLQRMFNNCEV	60
NM_001346900	1	-----MFNNCEV	7
NM_005228.5	61	VLGNLEITYVQRNYDLNFLKTIQEVAGYVLIANTVERIPLNQLIIRGNMYEENSAYLA	120
NM_001346899.2	61	VLGNLEITYVQRNYDLNFLKTIQEVAGYVLIANTVERIPLNQLIIRGNMYEENSAYLA	120
NM_001346900	8	VLGNLEITYVQRNYDLNFLKTIQEVAGYVLIANTVERIPLNQLIIRGNMYEENSAYLA	67
NM_005228.5	121	VLSNYDANKTGLKELPMRNQLQEIHLGAVRFSNNPCLCNVESIQWRDIVSSDFLSNMSMDF	180
NM_001346899.2	121	VLSNYDANKTGLKELPMRNQLQ-----	142
NM_001346900	68	VLSNYDANKTGLKELPMRNQLQEIHLGAVRFSNNPCLCNVESIQWRDIVSSDFLSNMSMDF	127
NM_005228.5	181	QNHLSGSCQKCDPSPNGSCWGAGEENCQKLTKEICAQQCSGRCRGKSPSDCCHNQCAAGC	240
NM_001346899.2	143	-----QKCDPSPNGSCWGAGEENCQKLTKEICAQQCSGRCRGKSPSDCCHNQCAAGC	195
NM_001346900	128	QNHLSGSCQKCDPSPNGSCWGAGEENCQKLTKEICAQQCSGRCRGKSPSDCCHNQCAAGC	187
NM_005228.5	241	TGPRESDCLVCRKFRDEATCKDTCPPIMLYNPPTYQMDVNPEGKYSFGATCVKKCPRNYV	300
NM_001346899.2	196	TGPRESDCLVCRKFRDEATCKDTCPPIMLYNPPTYQMDVNPEGKYSFGATCVKKCPRNYV	255
NM_001346900	188	TGPRESDCLVCRKFRDEATCKDTCPPIMLYNPPTYQMDVNPEGKYSFGATCVKKCPRNYV	247
NM_005228.5	301	VTDHGSCVRACGADSYEMEEDGVRKCKKCEGPCRKVCNGIGIGEFKDSLSINATNIKHF	360
NM_001346899.2	256	VTDHGSCVRACGADSYEMEEDGVRKCKKCEGPCRKVCNGIGIGEFKDSLSINATNIKHF	315
NM_001346900	248	VTDHGSCVRACGADSYEMEEDGVRKCKKCEGPCRKVCNGIGIGEFKDSLSINATNIKHF	307
NM_005228.5	361	NCTSIGDLHLPLVAFRGDSFTHTPPLDPQELDILKTVEITGFLLIQAWPENRTDLHAF	420
NM_001346899.2	316	NCTSIGDLHLPLVAFRGDSFTHTPPLDPQELDILKTVEITGFLLIQAWPENRTDLHAF	375
NM_001346900	308	NCTSIGDLHLPLVAFRGDSFTHTPPLDPQELDILKTVEITGFLLIQAWPENRTDLHAF	367

Şəkil 2. EGFR-ın üç formasının ECD domeninin müqayisəli kompüter düzlənməsi. Qırıq xətlər hər bir formada itirilmiş ardıcılığın yerini göstərir. Təbii forma EGFR 1210 aminturşu qalıqından ibarətdir.

EGFR	1	MRPSGTAGAALLAALLCPASRALEEKVKCGTSTNKLTLQGTFFEDHFLSLQRMFNNECVVLGNLEITYVQRNYDLSFLK	80
HER2	1	ME---LAALCRWGLLLALLPFGAA--STQVCTGTDMKRLRPASPTHLDMLRLHYQGCQVVGQGNLELTYLPTNASLSFLQ	75
EGFR	81	TIQEVAGYVLIALNTVERIPIENLQIIRGNMYEYNSYALAVLSNYD-----ANKTGLKELPMRNLQEIHLGAVRF	150
HER2	76	DIQEVQGYVLIHNNQVRQVPLQRLRIVRGTLQFEDNYALAVLDNGDPLNNTTPTVTGASPGGLRELQLRSLTEILKGGVLI	155
EGFR	151	SNNPALCNVESIQWRDIVSSDFLSNMSMDFQNHLSGCGKCDPSCPNSSCWGAGEENCOKLTKEICAQQCSGRGRGKSPSD	230
HER2	156	QRNPQLCYQDTILWKDI FHKNNQLALTLIDTNRSRACHPCSPMCKGSRGWGESSEDCQSLTRTV CAGGCA-RCKGFLPTD	234
EGFR	231	CCHNQCAAGCTGPRESDCLVCRKFRDEATCKDTCPPMLLYNPTTYQMDVNPGEKYSFGATCVKCKPRNYVVTDHGSCVRA	310
HER2	235	CCHEQCAAGCTGPKHSDCLACLFHNFHSGICELHCPALVTYNTDTFESMPNPEGRYTFGASCVTACPYNYLSTDVGSCTLV	314
EGFR	311	CGADSYEME-EDGVRKCKKCEGPCRKVCNGIGIGEFKDSLSINATNIKHFKNCTSI SCDLHILPVAFRGDSFTHTPPLDP	389
HER2	315	CPLHNQEVTAEDGTQRCCKSKPCARVCYGLGMEHLREVRAVTSANI QEFAGCKKI FGSLAFLPESFDGDPASNTAPLQP	394
		VCYGLGMEHLREV	
EGFR	390	QELDILKTVKEITGFLLIQAWPENRTDLHAFENLEIIRGRTKQHGQFSIAVVSINITSLSGLRSLKEISDGDVVISGNKNL	469
HER2	395	EQLQVFETLEEITGYLYISAWPDSLPDLVSFQNLQVIRGRILHNGAYSILTQGLGISWLGLRSLRELGSGLALIHNNTHL	474
EGFR	470	CYANTINWKKLFGTSGQKTKIISNRGENSCKATGQVCHALCSPGCGWGFPEPRDCVSCRNVSRGRECVDKCNLLEGEPRF	549
HER2	475	CFVHTVPWDQLFRNPHQALLHTANRPEDCEVGEGLACHQLCARGHCWGPGPTQCVNCSQFLRGQECVEECRVLQGLPREY	554
EGFR	550	VENSECIQCHPECLPQAMNITCTGRGPDNCIQCAHYIDGPHCVKTC PAGVMGE-NNTLVWKYADAGHVCHLCHPNCTYGC	628
HER2	555	VNARHCLPCHPECPQNGSVTCFGPEADQCVACAHYKDPFFCVARCPSGVKPDLSPYMPIWKFPDEEGACQPCPINCTHSC	634
EGFR	629	TGPGLEG	635
HER2	635	VDLDDKG	641

Şəkil 3. EGFR və HER2-nin MEME skaninqə görə aşkar edilən motifləri ECD ardıcılıqda parallel olaraq qeyd edilir. EGFR ECD-də tünd boz fonda, HER2 ECD-də isə altdan xətlə, qeyri siqnal zülalları ilə orta qalıqlar altdan ikiqat cızla vurğulanır.

Motif – CTGPGEECDIKCRKYSIDGATCVDKC (konsensus ardıcılıq NWTAEENVLPEAHFSCAPE-KKT) EGFR ECD-də 571-596, 515-540, 240-265, 199-224 və 271-296-ci ardıcılıqlarda təkrarlanır;

Motif – CWGPGPSQCVACAHFKHPPFCVARC (konsensus ardıcılıq ·T·GHSD·LN·LQYLHPPF·EEH·) HER2 ECD-də 244-269, 520-545 və 576-601-ci qalıqlarda təkrarlanır;

Motif – CQQCHPNC (konsensus ardıcılıq ·IL· D· N·) EGFR ECD-də 617-625, 555-563, 187-195-ardıcılıqlarda təkrarlanır;

Motif ·YMPIAKFW (konsensus ardıcılıq C·PMV·FP) HER2 ECD-də 610-618-ci qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə 826 və 952-ci qalıqlarda);

Motif – PQQGFFSK (konsensus ardıcılıq P·HDQ·PL) EGFR ECD-də 431-439-cu qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə - 1119 və 1179-cu qalıqlarda);

Motif – LIQRNPQLCYKHTIPW (konsensus ardıcılıq ·KHRQH·KIRQH·MPR) HER2 ECD-də 154-170 və 467-483-cü qalıqlarda təkrarlanır;

Motif – ITQLMTFG (konsensus ardıcılıq LWE·GP·E) EGFR ECD-də 38-46-cı qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə 789 və 904-cü qalıqlarda);

Motif – CQPCSPEC (konsensus ardıcılıq ·HK· ·HIM· ·) HER2 ECD-də 192-199, 331-338, 560-567 və 623-631-ci qalıqlarda təkrarlanır;

Motif – NNTJVKY (konsensus ardıcılıq HQSIN·SK) EGFR ECD-də 472-480 və 603-611-ci qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə, 893-cü qalıqda);

Motif – KDIFGSGG (konsensus ardıcılıq ·KV·GKLG) HER2 ECD-də 170-177 və 368-375-ci qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə 1182-ci qalıqda);

Motif – FLKTVREVAGYLLIQ (konsensus ardıcılıq IS·MIQDPQRFFV·A) EGFR ECD-də 78-93 və 394-411 qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə, 968-ci qalıqda);

Motif – GYVYIAAW (konsensus ardıcılıq ·TLLKGHN) HER2 ECD-də 82-89 və 468-415-ci qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə 732-ci qalıqda);

Motif – ENLEIIRG (konsensus ardıcılıq ·AQYL· V·) EGFR ECD-də 102-110 və 421-429-cu qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə, 1193-ci qalıqda);

Motif – FDGDPPEGAAP (konsensus ardıcılıq W·Q·LGMNG·K) HER2 ECD-də 381-391-ci qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə 1086 və 1223-cü qalıqlarda);

Motif – CGADEYLI (konsensus ardıcılıq VGI·S· LM) EGFR ECD-də 311-319-cu qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə, 939 və 1011-ci qalıqlarda);

Motif – VPYGVAJEHLREN (konsensus ardıcılıq MKIPLGLEVV· ·VT) HER2 ECD-də 341-355-ci qalıqlarda yerləşir (iki təkrar hüceyrədaxili domendə 746 və 801-ci qalıqlarda);

Motif – QKLFNNVCV (konsensus ardıcılıq IRLKWK· T) EGFR ECD-də 52-60 və 356-364-cü qalıqlarda təkrarlanır (bir təkrar hüceyrədaxili domendə, 812-ci qalıqda);

Motif – ACHEQCAR (konsensus ardıcılıq C·AGL· ·A) HER2 ECD-də 219-227, 235-243 və 510-517-ci qalıqlarda təkrarlanır.

ScanProsite verilənlər bazasında aparılan kompüter analizləri bu reseptor zülallarının, xüsusilə də HER2-nin ECD rayonunda digər, qeyri siqnal zülallarında rast gəlinən konservativ qalıqları aşkar etdi (şəkil 3).

Məsələn, HER2-də 439-GAYSLTLQGLGIS-451 və 600-CPSGVKPDLSYMPI-664 alfa-tubulində, 79-EVQGYVLIHNNQVRQVPLQRLRIV-103 qalıqları anantransferazada, 125-NTTPVTGASPGGLRELQ-141

fmoksigenazada rast gəlinən qalıqlardır. Bu zülallar heç də siqnal zülallarına aid edilmir, amma HER2 (və EGFR) kimi reseptor zülalları ilə bəzi konservativ qalıqları bölüşürlər.

Baxmayaraq ki, süd vəzi xərçəngi və ağciyər xərçəngi zamanı istifadə edilən əksər kimya terapiya agentləri xüsusilə I və IV ECD rayonlarına spesifik olur, onun bu rayonlarından 140-600 amin turşuları ardıcılığında olan ECD hissəsi daha çox mutasiyalara məruz qalır. Bu səbəbdən HER2 spesifik süd

vəzi və ağ ciyər karsinomalarına qarşı kimya terapiya zamanı və hədəfli müalicə zamanı HER2-nin II domeninin konservativ qalıqlarından (və motiflərdən) epitop kimi istifadə edərək dizayn və sintez olunmuş insanınkıləşdırılmış monoklonal anticismlərin yaradılması tələb olunan mühüm istiqamətdir.

NƏTİCƏ

Yekun olaraq, EGFR və HER2 ECD zülallarının təkamülə qorunb saxlanılmış motivlərinin analizi artıq mövcud olan insanınkıləşdırılmış monoklonal anticismlərə (trastuzumab və pertuzumab kimi) alternativ olan daha mükəmməl anticismlər üçün epitopları ortaya qoyur. Bu tədqiqatlar, xüsusilə də, HER2 ECD zülalının təkamülə qorunub saxlanılmış motivlərinin gələcəkdə süd vəzi və ağ ciyər karsinomalarının potensial dərman hədəfi ola bilən rayonlarını (epitopları/hədəfləri) təsdiqləyir. Biz həmçinin bu araşdırma ilə epitop əsaslı vaksinlərin və dərmanların dizaynına töhfə verə biləcək zülallarda potensial epitopları və ya əsas hədəf sahələrini proqnozlaşdırmaq və ya axtarmaq üçün yeni proseduru təqdim edirik.

İSTİNADLAR

- [1] N. Ishiyama, M. O'Connor, A. Salomatov, D. Romashko, S. Thakur, A. Montes, J.F. Hopkins, G.M. Frampton, L.A. Albacker, A. Kohlmann, C. Roberts, E. Buck. Computational and Functional Analyses of HER2 Mutations Reveal Allosteric Activation Mechanisms and Altered Pharmacologic Effects. *Cancer Research | Computational Cancer Biology and Technology*, 2023, 83(9), 1531-1542, doi: 10.1158/0008-5472.CAN-21-0940
- [2] Hudziak, R. M., Schlessinger, J., Ullrich, A. Increased expression of the putative growth factor receptor p185HER2 causes transformation and tumorigenesis of NIH 3T3 cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1987, 84, 7159–7163.
- [3] Yarden, Y. & Sliwkowski, M. X. Untangling the ErbB signalling network. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2, 127–137 (2001).
- [4] Lemmon, M. A., Schlessinger, J., Ferguson, K. M. The EGFR family: not so prototypical receptor tyrosine kinases. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 6, a020768 (2014).
- [5] Peckys, D. B., Korf, U., de Jonge, N. Local variations of HER2 dimerization in breast cancer cells discovered by correlative fluorescence and liquid electron microscopy. *Sci. Adv.* 1, e1500165 (2015).
- [6] Yarden, Y. and Pines, G. The ERBB network: at last, cancer therapy meets systems biology. *Nat. Rev. Cancer* 12, 553–563 (2012).
- [7] Bai X, Sun P, Wang X, Long C, Liao S, Dang S, Zhuang S, Du, Zhang X, Li N, He K, Zhang Z. Structure and dynamics of the EGFR/HER2

- heterodimer. *Cell Discovery*, 2023, 9:18, doi: <https://doi.org/10.1038/s41421-023-00523-5>
- [8] Latta EK, Tjan S, Parkes RK, O'Malley FP. The role of HER2/neu overexpression/amplification in the progression of ductal carcinoma in situ to invasive carcinoma of the breast. *Modern pathology: an official journal of the United States and Canadian Academy of Pathology, Inc*, 2002, 15: 1318–1325.
- [9] Carlsson J, Nordgren H, Sjöström J, Wester K, Villman K, et al. HER2 expression in breast cancer primary tumours and corresponding metastases. Original data and literature review. *British journal of cancer*, 2004, 90: 2344–2348.
- [10] Riudavets M, Sullivan I, Abdayem P, Planchard D. Targeting HER2 in non-small-cell lung cancer (NSCLC): a glimpse of hope? An updated review on therapeutic strategies in NSCLC harbouring HER2 alterations. *European Society for Medical Oncology*, 2021, V. 6 (5), doi: <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2021.100260>
- [11] Carter P, Presta L, Gorman CM, Ridgway JB, Henner D, et al. Humanization of an anti-p185HER2 antibody for human cancer therapy. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1992, 89: 4285–4289.
- [12] Harbeck N, Beckmann MW, Rody A, Schneeweiss A, Müller V, et al. HER2 Dimerization Inhibitor Pertuzumab - Mode of Action and Clinical Data in Breast Cancer. *Breast Care (Basel)*, 2013, 8: 49–55.
- [13] Franklin MC, Carey KD, Vajdos FF, Leahy DJ, de Vos AM, et al. Insights into ErbB signaling from the structure of the ErbB2-pertuzumab complex. *Cancer cell*, 2004, 5: 317–328
- [14] Cappuzzo F, Ligorio C, Toschi L, et al. EGFR and HER2 gene copy number and response to first-line chemotherapy in patients with advanced non-small cell lung cancer (NSCLC). *J Thorac Oncol.* 2007, 2(5):423-429.
- [15] Kuyama S, Hotta K, Tabata M, et al. Impact of HER2 gene and protein status on the treatment outcome of cisplatin-based chemoradiotherapy for locally advanced non-small cell lung cancer. *J Thorac Oncol.* 2008, 3(5):477-482.
- [16] Graziano SL, Tatum A, Herndon JE, et al. Use of neuroendocrine markers, p53, and HER2 to predict response to chemotherapy in patients with stage III non-small cell lung cancer: a Cancer and Leukemia Group B study. *Lung Cancer*. 2001, 33(2-3):115-123.
- [17] Garrett JT. and Arteaga CL. Resistance to HER2-directed antibodies and tyrosine kinase inhibitors: mechanisms and clinical implications. *Cancer Biol Ther*, 2011, 11: 793–800.
- [18] Gershoni JM, Roitburd-Berman A, Siman-Tov DD, Tamovitski Freund N, Weiss Y. Epitope mapping: the first step in developing epitope-based vaccines. *BioDrugs*, 2007, 21: 145–156.
- [19] Clementi N, Mancini N, Castelli M, Clementi M, Burioni R. Characterization of epitopes recognized by monoclonal antibodies: experimental approaches supported by freely accessible bioinformatic tools. *Drug Discov Today*, 2013, 18: 464–471.
- [20] Dawson JP, Berger MB, Lin CC, Schlessinger J, Lemmon MA, and Ferguson KM. Epidermal Growth Factor Receptor Dimerization and Activation Require Ligand-Induced Conformational Changes in the Dimer Interface/ *Mol. Cell. Biol.*, 2005, v. 25, No. 17p. 7734–7742

From Global Best Practices to National Implementation: Digital Health Strategies for Azerbaijan

Bahar Graefen

Chicago State University, IL, USA

bahar.graefen@gmail.com

Abstract: The rapid evolution of digital technologies has created unprecedented opportunities for transforming healthcare systems worldwide. Experiences from countries such as Estonia, Sweden, Singapore, and China demonstrate how digital tools – including electronic health records, telemedicine, mobile health, and artificial intelligence – can enhance healthcare accessibility, quality, and efficiency. This thesis explores digital health's role in addressing healthcare challenges and its adaptation to the Azerbaijani context. Although Azerbaijan has initiated digital reforms like e-prescriptions and telemedicine, significant challenges remain, including infrastructural gaps, regulatory needs, and digital literacy barriers. This study analyses the current landscape, identifies key obstacles and opportunities, and offers strategic recommendations. By leveraging global best practices and investing in infrastructure, capacity building, and governance, Azerbaijan can build a resilient, equitable digital health ecosystem that advances public health goals.

Keywords: *Digital Health, Health system, Telemedicine, Public Health, Azerbaijan.*

The WHO Global Strategy on Digital Health 2020-2025 asserts the potential for the development of digital health initiatives to be guided by a set of core principles, including transparency, accessibility, scalability, replication, interoperability, privacy, security, and confidentiality [3].

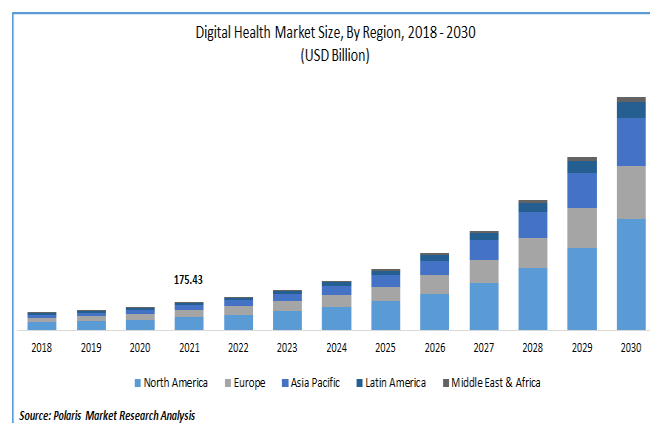


Figure 1. Digital Health Market [4].

1. INTRODUCTION

The growing significance of healthcare is driven by a range of global concerns, including an ageing population, rising rates of child illness and mortality, the emergence of epidemics and pandemics, the increasing prevalence of chronic illnesses, and the impact of socio-economic factors such as poverty and racial discrimination on access to healthcare. The overarching goals of "Universal Health Coverage (UHC)" and "Health for All" appear to be ambitious, and the ambition of a healthcare system that is affordable, accessible, equitable, and of high quality remains unfulfilled [1].

The integration of technology into healthcare delivery systems has the potential to effect radical change, with the adoption of technology playing a pivotal role in addressing existing gaps and accelerating progress towards the Sustainable Development Goals [2]. Consequently, to address the diverse and growing healthcare demands, it is recommended that the digitization of healthcare is prioritized.

The term "digital healthcare" refers to a broad, multidisciplinary concept that encompasses elements from the confluence of technology and healthcare. The World Health Organization (WHO) defines digital health as the cost-effective and secure use of information and communication technologies (ICTs) in health and health-related fields. The overarching objective of technology in healthcare should be to promote health, manage health emergencies, and serve the vulnerable. Should these digital health systems be implemented in a strategically integrated manner, they have the potential to become powerful tools that will assist us in achieving the goal of health and well-being for all.

II. BACKGROUND

A. Standards, Interoperability, and Regulatory frameworks

It is acknowledged that a variety of standards may be in place, with privacy and security standards being a notable example. These standards establish administrative and technical rules with the objective of preventing unauthorized access, abuse, or disclosure of sensitive health data. It is evident that the standards may be categorized into various types, including but not limited to terminology standards, content standards, data exchange or transport standards, and so on. In a similar manner, a plethora of regulatory frameworks exist, encompassing regulations pertaining to drugs and cosmetics, telemedicine, personal data, and numerous others.

It is imperative to acknowledge the pivotal role that standards and interoperability play in ensuring the success of digital health systems. For disparate systems to be interoperable or to meaningfully exchange information with one another, it is essential that procedures and data standards are established. These standards must ensure a common language and facilitate data interchange. As patients interact with the health system at various points of service, interoperability is essential for supporting continuity of care as well as driving cost efficiencies and reducing fragmentation across various digital systems.

B. Challenges in Global Healthcare

The healthcare sector is of significance for every nation. Nevertheless, the sector has been grappling with numerous challenges over the years, including mounting healthcare expenditures, ineffective procedures, constrained access to care, substandard care quality, and an absence of patient-centered care. Significant challenges currently exist that impact the operations of both patients and healthcare providers. However, the development of new technology may enable the overcoming of these challenges within the current decade.

III. INTERNATIONAL EXPERIENCES IN DIGITAL HEALTH TRANSFORMATION

3.1. Turkey

Turkey has made significant strides in digital health, aligning itself with the global shift toward Health 4.0. The country's "e-Nabız" Personal Health Record System, launched by the Ministry of Health, enables citizens to access their medical information securely online and manage their healthcare digitally. Telemedicine services, electronic prescriptions (e-Reçete), and hospital information systems (HIS) are widely implemented across public and private healthcare institutions. The introduction of artificial intelligence in diagnostic imaging and smart hospital projects, such as the large-scale city hospitals, reflect Turkey's commitment to integrating emerging technologies into healthcare. Moreover, Turkey's Health Information Systems General Directorate continues to work on expanding interoperability, cybersecurity, and the use of big data analytics to improve public health management. These developments position Turkey as a growing player in the field of Health 4.0 within the region [5]. The e-Nabız platform includes 38 distinct homepage components and organized content sections. Based on the content analysis, the platform's components were organized into 11 subgroups—healthcare, patient, wearable devices, index calculation, monitoring, donation, facilitating access, appointment, sharing, securing, and feedback—and further classified into four main categories: treatment, prevention and health promotion, healthcare services, and additional services [5].

In 2018, a total of 11 million citizens used e-Nabız; this number steadily increased over the years, reaching 68 million active users by 2022, representing 80% of the population. Additionally, e-Nabız achieved an adoption rate of 84% among users aged 0–4 years [5].

3.2 Estonia

The healthcare system of Estonia has undergone a significant transformation over the past three decades, during which it has emerged as a leader in the field of e-health. The objective of the project was to introduce and continuously develop a health information exchange platform (HIE). X-Road (DPG) is an open-source software and ecosystem solution that facilitates secure and unified data exchange between private and public sector organizations, constituting the foundational infrastructure of e-Estonia. The Electronic Health Record (e-Health Record) is a nationwide system that integrates data from Estonia's various healthcare providers,

thereby creating a common record that is accessible online by every patient [6].

The first nation to implement blockchain technology in the healthcare sector was Estonia. In Estonia, the digitization of medical records has been accomplished, with the implementation of blockchain security measures. Since 2015, 97% of hospital discharge letters have been transferred to the central database, and 99% of health data has been converted to digital format. The entire nation has access to unified health information, including X-rays, and electronic ID can be used to acquire prescriptions on demand. In 2023, it is anticipated that the digital health industry in Estonia will generate revenue amounting to US\$ 46.96 million [7]. This sector encompasses a wide range of technologies, including mobile health applications, connected wearable devices, and telemedicine services.

The Estonian Electronic Health Record represents a comprehensive health initiative and constitutes a component of the Estonian National Health Information System, which was initiated in 2000 with the objective of enhancing and expanding health services for patients and citizens. The project was initiated in December 2008. The implementation of electronic health records represented a significant challenge for Estonia [8].

3.3 Sweden

Sweden is recognized as having one of the best and most advanced healthcare systems in the world. In Sweden, the population has universal access to healthcare, with minimal or non-existent co-payments. The Swedish healthcare system is characterized by its decentralized nature, with responsibility for health and medical care being distributed among the central government, the regions, and the municipalities. The primary responsibility for the provision of health and medical services is entrusted to the regions. The municipalities are responsible for the administration of nursing facilities, home healthcare for the aged, and the disabled. Furthermore, they supervise the provision of medical treatment within educational institutions, provide support and assistance to patients who are being discharged from hospitals, and deliver care to individuals experiencing psychiatric concerns. In Sweden, healthcare is provided by both public and private organizations, and all are subject to the same laws. The delivery of healthcare is funded by the council, yet its provision is undertaken by private entities when regional councils procure services from private healthcare providers. Sweden allocates approximately 11% of its GDP to health and medical services, a figure consistent with most other European countries [9]. It has been determined that out-of-pocket medical expenses account for approximately 14% of total costs [9].

3.4 Singapore

Singapore is widely known as the primary healthcare and medical epicenter of the region, offering what is widely regarded as the most advanced healthcare system in Asia. The Ministry of Health of the Government of Singapore is responsible for the oversight of healthcare in the country. The healthcare system is primarily characterized by a government-run, publicly funded universal healthcare system,

complemented by a substantial commercial healthcare industry. Government hospitals account for 80% of all hospital beds in Singapore, while the private sector accounts for 20% of the total [10]. The estimated share of healthcare spending in GDP is 5.9%, with a potential increase to 9.0% by 2030 [11]. Meanwhile, out-of-pocket expenditure constitutes 30.15% of current health expenditure [12]. This growth is primarily attributable to rising government healthcare expenditure, as well as increased utilization of healthcare services by local populations, largely due to an ageing population and rising prevalence of chronic illness, regular monitoring and follow-up of chronic illnesses, and increased usage of sophisticated technology.

To guarantee safety, effectiveness, and privacy, mHealth apps and other AI-based health solutions need to meet certain legal requirements. In the United States, four primary federal laws regulate mHealth applications. The Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) safeguards the privacy and security of health information and mandates that certain entities report any breaches of health data. Enforcement of HIPAA falls under the Office for Civil Rights within the U.S. Department of Health and Human Services. The Federal Food, Drug, and Cosmetic Act oversees the safety and effectiveness of medical devices, including specific mHealth apps. The Food and Drug Administration (FDA) focuses its regulatory efforts on a limited subset of mHealth applications that could pose significant risks if they malfunction. Additionally, the Federal Trade Commission (FTC) Act prohibits deceptive or unfair practices, including false or misleading claims regarding an app's safety or performance [13].

In the European Union (EU) and the European Economic Area (EEA), mHealth applications and AI-based health solutions are classified as medical devices and must comply with the corresponding regulatory requirements. Medical devices are categorized based on their risk level into Class I, IIa, IIb, and III, representing low, medium, medium/high, and high risk, respectively. General safety requirements include, at a minimum, clinical and/or performance evaluations. The latest EU regulation governing medical devices, Regulation 2017/745, came into effect on 26 May 2021. This regulation is further supported by several guidelines issued by the European Commission. mHealth apps classified as medical devices must aim to influence individuals' health, avoid unauthorized handling of population data, and adhere to medical device regulations. Additionally, the regulation mandates the establishment of a medical device database to enhance transparency for both patients and healthcare providers [13].

IV. THE ROLE OF TELEMEDICINE

Telemedicine has demonstrated potential to revolutionize the delivery of healthcare. It is evident that the initiative supports the enhancement of accessibility and effectiveness in healthcare delivery [14]. This is achieved by the reduction of travel requirements, the elimination of geographical barriers, the provision of clinical support, the utilization of a variety of communication tools, and the improvement of patient outcomes. It has become an appealing solution to successfully satisfy the demands of today's patients [14]. Several countries

have adopted telemedicine to address their challenges in delivering healthcare services. The advent of this technology has facilitated enhanced communication and continuity of care, even in remote locations, thereby reducing the necessity for physical travel within the country. To provide healthcare, governments have utilized the expanding mobile and satellite phone networks.

Telemedicine is implemented not only for the purposes of remote monitoring, diagnosis and treatment, but also for the effective transfer of knowledge. The experience of telemedicine in China offers a promising model for addressing health inequities. The healthcare sector in China is undergoing a significant transition towards full digitization, driven by the pervasive adoption of digital technologies such as artificial intelligence (AI), robotics, 5G, blockchain, big data and 3D printing in daily clinical practice. The advent of emerging technologies has led to their integration into a wide range of medical disciplines, including disease prevention, diagnosis, surgery, hospital management, health management, and healthcare data analysis and processing.

Telemedicine services have undergone a significant transformation, resulting in a paradigm shift in conventional medical practices. Recent technological developments in the field of communication technology, medical equipment technology, hospital information management technology and a series of core technologies in telemedicine have been shown to have a significant impact on the delivery of healthcare services, with the potential to make such services more accessible and equitable.

In accordance with the stipulations set out in the WHO global policy on digital health, nations worldwide are obligated to prioritize the delivery of healthcare in a manner that is ethical, egalitarian, and sustainable on a global scale, with the utilization of technological advancements playing a pivotal role in this endeavor. Furthermore, the global acceleration and improvement of such solutions has been aided by the epidemic of the novel corona virus (SARS-CoV-2). To enhance accuracy and outcomes, nations planning to go digital might benefit from incorporating the lessons learned from those who have already adopted digital methods.

In the modern world, nations with technologically advanced healthcare systems and a well-developed innovation ecosystem are better equipped to address current challenges and are also better prepared for unexpected health threats. The implementation of leading practices, including telemedicine, EHRs, and e-health wallets, has resulted in a significant enhancement in the accessibility of high-quality healthcare for the public. The generation of substantial data within hospital settings has enabled the facilitation of extensive research collaborations on a broader scale. The potential of artificial intelligence to transform healthcare delivery and medical practice is significant. Innovative start-ups across the globe are developing ground-breaking digital health solutions, including cloud-based hospitals, solar-powered hearing aids, and digital emergency platforms. Blockchain technology represents a further such advancement that has the potential to be used in the healthcare sector to ensure the accuracy of retrieved electronic medical information and system access logs.

The experiences of countries such as Estonia, Sweden, Singapore, and Turkey demonstrate that the successful integration of digital technologies into healthcare systems requires strategic planning, strong governance, and sustained investment. While each nation's journey reflects its unique socio-economic and infrastructural context, common principles such as interoperability, data security, and patient-centered care emerge as universal foundations. It is imperative to examine how Azerbaijan, with its distinctive healthcare landscape and evolving digital initiatives, can harness similar strategies to accelerate its healthcare transformation. The following section will explore the status, challenges, and prospects of digital health development in Azerbaijan.

V. THE DIGITAL HEALTH LANDSCAPE IN AZERBAIJAN

Azerbaijan, a country located at the geographical intersection of Europe and Asia, is currently experiencing a period of significant transformation within its healthcare system. The healthcare ecosystem in Azerbaijan is a comprehensive network (Figure 2) that brings together public, semipublic, and private entities to deliver a broad spectrum of health services [15]. The State Agency for Mandatory Health Insurance plays a pivotal role by funding healthcare services and ensuring universal coverage. The adoption of mandatory health insurance marked a fundamental step in Azerbaijan's healthcare transformation, aimed at ensuring universal access to a wide range of services, including the management of chronic diseases [15]. The government has recognized the potential of digital technologies to modernize healthcare services and address persistent challenges, including geographical disparities in healthcare access, shortages of specialized healthcare professionals, and the rising burden of non-communicable diseases.

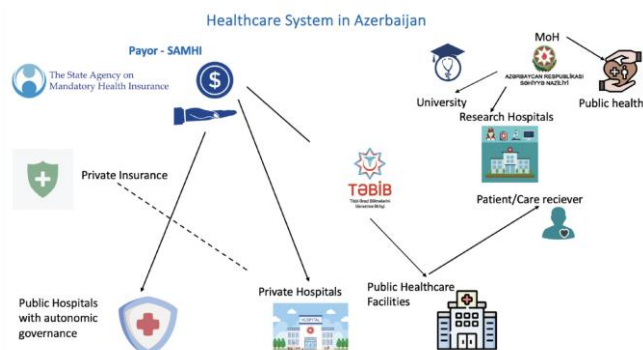


Figure 2. The healthcare ecosystem in Azerbaijan [15].

The mandatory health insurance program has significantly expanded coverage and lowered out-of-pocket expenses, enhancing the population's ability to access timely and appropriate health care. Nevertheless, disparities in service quality between urban and rural areas, along with variations in healthcare provider expertise, remain substantial challenges [15]. This disparity underscores the need for a more proactive strategy focused on ensuring continuity of care across different healthcare settings and stages of disease management. Achieving this goal requires the use of digital tools to monitor patients and collect health data, including continuous tracking through wearable devices, integration with remote patient

management platforms, and ensuring interoperability between providers and systems throughout the patient journey nationwide. These efforts align with the Healthcare Digitalization Strategy of the Ministry of Health and TABIB's initiatives to enhance accessibility and improve the management of chronic conditions.

The "Strategy for the Development of Health in Azerbaijan" identifies digital transformation as a principal component. The strategy highlights the necessity for the following:

- The expansion of e-health infrastructure is a key priority.
- The development and promotion of telemedicine, with a particular focus on rural and remote regions, is of crucial importance.
- The enhancement of digital competencies among healthcare professionals is a crucial aspect of contemporary healthcare delivery.
- The primary objective is to ensure the protection of patient data and cybersecurity.
- The Compulsory Health Insurance system, which was initiated on a national scale in 2020, incorporates digital components, including centralized patient records and electronic claims processing. The objective of this initiative is to enhance the efficiency of healthcare financing and service delivery.

The initial phase of digital health integration in Azerbaijan provides a valuable opportunity for the country to draw upon global best practices and circumvent potential challenges. The following opportunities are available:

- The establishment of a National Health Information Exchange (HIE) Inspired by the X-Road platform developed in Estonia, Azerbaijan is in the process of developing an integrated digital system that will connect hospitals, clinics and pharmacies.
- Leveraging Mobile Penetration: Azerbaijan has a high rate of mobile phone usage, which could support mHealth solutions, particularly in remote communities.
- Fostering Innovation: It is submitted that a potential incentive mechanism for startups focused on AI-based diagnostics, remote monitoring devices and personalized medicine could be the implementation of targeted government programs.
- International Collaboration: The establishment of partnerships with international organizations and technology companies has been identified to accelerate capacity building and infrastructure development.

VI. DISCUSSION

The integration of digital technologies into healthcare systems has emerged as a transformative force, offering the potential to address long-standing challenges and accelerate progress towards achieving Universal Health Coverage and the Sustainable Development Goals. A review of global experiences from countries such as Estonia, Sweden,

Singapore, and Turkey demonstrate that, when strategic planning is employed, robust infrastructure is in place, regulatory frameworks are in place, and patient-centered approaches are adopted, digital health initiatives have the potential to significantly enhance the accessibility, quality, and efficiency of healthcare services.

Azerbaijan finds itself at a critical juncture in this global transformation. Recent initiatives to implement electronic health records, telemedicine platforms, and e-prescription systems indicate a growing commitment to utilizing technology for the modernization of healthcare. Nevertheless, there are still critical challenges to be addressed, including infrastructural gaps, digital literacy limitations, regulatory needs, and public trust issues. To address these challenges, it is essential that there is sustained political will, strategic investment, and a coordinated effort among government agencies, healthcare providers, and the private sector.

The successful development of digital health in Azerbaijan requires a structured and phased approach, tailored to the country's current healthcare capacities and future aspirations. To achieve this objective, a strategic action plan has been formulated. This plan provides a detailed outline of the priorities to be addressed in the short, medium and long term. In the short term, the focus should be on strengthening foundational infrastructure, such as expanding broadband access, launching pilot telemedicine initiatives, and improving digital health literacy among healthcare professionals. Medium-term goals emphasize the deployment of a nationwide interoperable Electronic Health Record system, the establishment of comprehensive legal and regulatory frameworks, and the promotion of innovation through public-private partnerships. In the long term, Azerbaijan should aim to fully integrate advanced technologies, including blockchain and big data analytics, into its healthcare ecosystem, positioning itself as a regional leader in digital health innovation. This phased strategy will enable Azerbaijan to systematically build a resilient, inclusive, and technology-driven healthcare system that is aligned with global best practices.

VII. CONCLUSION

Azerbaijan's success will be predicated on the adoption of a dual-pronged approach, incorporating both international best practice and the adaptation of solutions to suit national requirements. The establishment of a robust, interoperable health information system, the fostering of digital innovation, the promotion of public-private partnerships, and the enhancement of digital competencies among healthcare workers and patients are all essential steps toward the creation of a sustainable digital health ecosystem. By prioritizing the development of digital health, Azerbaijan has the opportunity not only to modernize its healthcare system but also to create a more inclusive, resilient, and equitable model of care for its citizens. In an era of increasing global interconnectedness, the adoption of digital health strategies by Azerbaijan holds considerable potential for enhancing the effectiveness of its health system, thereby contributing to the improvement of population health outcomes. Furthermore, this initiative will

play a pivotal role in ensuring the country's preparedness for future public health challenges.

REFERENCES

- [1] World Bank. (2021). Walking the talk: Reimagining primary health care after COVID-19. World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/814591624897277544/pdf/Walking-the-Talk-Reimagining-Primary-Health-Care-After-COVID-19.pdf>
- [2] Stoumpos, A. I., Kitsios, F., & Talias, M. A. (2023). Digital transformation in healthcare: technology acceptance and its applications. *International journal of environmental research and public health*, 20(4), 3407.
- [3] World Health Organization. (2020). Global strategy on digital health 2020–2025. World Health Organization. <https://www.who.int/docs/default-source/documents/gsdhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf>
- [4] Polaris Market Research. (n.d.). Digital health market size, share & trends analysis report by technology, by component, by region, and segment forecasts, 2024–2032. Polaris Market Research. <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/digital-health-market>
- [5] Birinci, Ş. (2023). A digital opportunity for patients to manage their health: Turkey National Personal Health Record System (The e-Nabız). *Balkan medical journal*, 40(3), 215
- [6] Soares, B., Ferreira, A., & Veiga, P. M. (2023). The Benefits and Challenges of Blockchain Technology and eHealth Implementation in Estonia-A Literature Review. *Applied Medical Informatics*, 45(4).
- [7] National Health Authority. (n.d.). Digital health: Global leading practices. Ayushman Bharat Digital Mission. https://abdm.gov.in:8081/uploads/Digital_Health_Global_Leading_Practices_d59390d92d.pdf
- [8] ESPON. (n.d.). Estonia and Finland – A question of centralisation and decentralisation in digital healthcare. ESPON. <https://archive.espon.eu/estonia-and-finland-%E2%80%93-question-centralisation-and-decentralisation-digital-healthcare>
- [9] International Trade Administration. (n.d.). Healthcare resource guide: Sweden. U.S. Department of Commerce. <https://www.trade.gov/healthcare-resource-guide-sweden#:~:text=Sweden%20spends%20about%2011%25%20of,and%2084%20years%20for%20women>
- [10] Tan, S. H., Goh, L. G. H., Ong, B. S. K., Ng, D. S. G., Lin, L., Ng, R. C. H., ... & Ng, K. (2024). Impact of Value-Driven Healthcare Strategies for Biosimilar Adoption: The Singapore Story. *PharmacoEconomics-open*, 8(5), 679–688.
- [11] International Trade Administration. (2023). Singapore: Healthcare. U.S. Department of Commerce. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/singapore-healthcare>
- [12] Gill, J., Chávez, D., Main, C., Miracolo, A., Fontrier, A. M., & Kanavos, P. (2023). Sustainable healthcare financing for SDG3 in ASEAN-6.
- [13] Deniz-Garcia, A., Fabelo, H., Rodriguez-Almeida, A. J., Zamora-Zamorano, G., Castro-Fernandez, M., Alberiche Ruano, M. D. P., ... & WARIFA Consortium. (2023). Quality, usability, and effectiveness of mHealth apps and the role of artificial intelligence: current scenario and challenges. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e44030.
- [14] Islind, A. S., Snis, U. L., Lindroth, T., Lundin, J., Cerna, K. and Steineck, G. (2019): 'The virtual clinic: Two-sided affordances in consultation practice', *Computer Supported Cooperative Work*, vol. 28, nos. 3–4, 2019, pp. 435–468. <https://doi.org/10.1007/s10606-019-09350-3>
- [15] Mirzoyev, U. (2025). Target 130/80: a future-focused initiative for hypertension management in Azerbaijan.

Qeyri-Kiçik Hüceyrəli Ağciyər Xərçəngində EGFR Gen Mutasiyalarının Klassifikasiyası və Müxtəlif Metodlarla Aşkarlanması

Səbinə Mehdizadə¹, Elçin Mansurov^{1,3}, Cavid Əliyev¹, Elnarə Əliyeva¹, İlqar Qasımzadə¹, Aleksandra Quliyeva¹, Leylaxanım Məlikova^{1,2}

¹Milli Onkologiya Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan

²ETN Biofizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

³Ə.Əliyev adına Azərbaycan Dövlət Həkimlərin Təkmilləşdirmə İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹info@mom.gov.az, ^{1,2}Lmelikova20027@gmail.com, ³info@adhti.edu.az

Xülasə – Bu iş qeyri-kiçik hüceyrəli ağciyər xərçəngi (QKHAX) olan xəstələrdə epidermal böyümə faktoru reseptoru (EGFR) gen mutasiyalarının klinik əhəmiyyətini və müalicəyə cavab xüsusiyyətlərini təhlil edir. Tədqiqata 2013-2024-cü illərdə Milli Onkologiya Mərkəzinə müraciət edən 507 ağciyər xərçəngi diaqnozu qoyulan xəstə daxil edilib. Onlardan 133-də EGFR genin müxtəlif mutasiyaları, o cümlədə 6 xəstədə isə ikili mutasiya aşkar edilib. Müşahidələr göstərib ki, EGFR genin ikili mutasiyaları olan xəstələr tirozin kinaz inhibitoru (TKİ) müalicəsinə daha həssas olub və onlarda uzunmüddətli sağ qalma müşahidə edilmişdir. Xəstələrdə sağqalma müddəti kompleks mutasiyaların tərkibindən asılı olmuşdur. Belə ki, bu xəstələrdə müalicə strategiyaları fərdi genetik profillərə əsaslanaraq uyğunlaşdırılmalıdır.

Açar sözlər— QKHAX, EGFR geni mutasiyaları, ikili mutasiya, TKİ-inhibitoru, fərdi onkoloji müalicə.

I. GİRİŞ

Ağciyər xərçəngi global miqyasda ölümə səbəb olan əsas onkoloji xəstəliklərdən biridir. Azərbaycan Respublikasında bu xəstəlik aktual səhiyyə problemlərindən biri olaraq qalır. Statistik göstəricilərə görə, ölkədə hər 100.000 nəfərə 152,3 yeni xərçənglə xəstələnmə halı düşür və ölüm göstəricisi 93,2 təşkil edir. Bu günün statistikasına ağciyər xərçənginin kişilər arasında ən çox rast gəlinən xərçəng növlərdən biri olduğunu göstərir (37,5/100.000) [1].

QKHAX ağciyər xərçəngi hallarının əksəriyyətini təşkil edir və burada molekulyar markerlərin, xüsusilə də EGFR geninin rolu mühüm əhəmiyyət daşıyır. EGFR geni xromosomun 7p11.2 bölgəsində yerləşir və 28 ekzon və 27 introndan ibarətdir. Bu gen transmembran reseptoru kodlayır və EGF, TGF- α kimi ligandlarla bağlanaraq hüceyrə bölünməsi və sağqalımını tənzimləyən siqnal yollarını aktivləşdirir [2, 3].

EGFR geninin kinaz domenində onkogen mutasiyaların olması reseptoru konstitutiv aktivləşdirir və hüceyrənin sağ qalmasını təşviq edir [4, 5]. Belə ki, EGFR gen mutasiyalarının strukturu və biologiyası istiqamətində aparılan tədqiqatlar hədəf terapiyası kimi istifadə edilən TKİ-in (tirozin

kinaz inhibitorları) həssaslığı haqqında anlayışların yaxşılaşdırılması və EGFR TKİ-lərin dərman kəşfində güclü bir vasitədir [6]. Bu kiçik molekullu TKİ-lər EGFR kinaz domeninin ATP “cibini” geri dönməz şəkildə bağlayır və reseptorların avtofosforilasiyasını və aşağı axın siqnalına maneə törədir [7, 8].

Birinci, ikinci və ya üçüncü nəsil tirozin kinaz inhibitorları ilə müalicə edildikdə klinik nəticələrdə nəzərəcarpacaq irəliləyiş göstərən EGFR onkogen mutasiyaları klassik EGFR mutasiyaları (L858R və ekson 19 delesiyaları) kimi təsnif edilir [9, 10]. Kinaz domendəki digər EGFR mutasiyaları (ekzonlar 18–21), nadir EGFR mutasiyaları adlandırılmışdır [11]. Bu mutasiyaların da onkogen mutasiya olduğu və kiçik hüceyrəli olmayan ağciyər xərçənginə (QKHAX) səbəb olduğu göstərilmişdir. EGFR genin S768I, L861Q, G719X, T790M, ekson 20ins9, ekson 20ins GGT/CAC mutasiyaları nadir mutasiyalar adlanır.

Bu mutasiyalar, struktur və funksional cəhətdən klassik mutasiyalardan fərqləndiyi üçün terapevtik yanaşmaların fərdiləşdirilməsini tələb edir. Bəzi nadir mutasiyalar birinci və ikinci nəsil TKİ-lərə qarşı zəif cavab verə bilər, bu da klinik idarəetmədə molekulyar testlərin və individual müalicə strategiyalarının əhəmiyyətini artırır. Üstəlik, son illərdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bəzi qeyri-adi EGFR mutasiyaları üçün üçüncü nəsil inhibitorlar və kombinasiya edilmiş müalicə protokolları daha effektiv nəticələr verə bilər [12]. Bu səbəbdən, nadir EGFR mutasiyalarının aşkarlanması və onların klinik mənasının düzgün interpretasiyası ağciyər xərçəngi olan xəstələrdə optimal müalicə planının hazırlanmasında mühüm rol oynayır.

II. İŞİN MƏQSƏDİ

Əsas məqsəd Azərbaycan populyasiyasında kiçik hüceyrəli olmayan ağciyər xərçəngində aşkarlanan EGFR gen mutasiyalarının təsnifatıdır. Bu təsnifat, pasiyentlər arasında mutasiya növlərinin tezliyini müəyyən etməklə yanaşı, müalicə strategiyalarının fərdiləşdirilməsi və proqnostik göstəricilərin qiymətləndirilməsi baxımından da mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

III. MATERIAL VƏ METOD

Bu tədqiqat 2013–2024-cü illər ərzində Azərbaycan Respublikası Milli Onkologiya Mərkəzinə (MOM) müraciət etmiş və EGFR genotipləmə analizi aparılmış 507 QKHAX xəstəsini əhatə etmişdir. Mili Onkologiya Mərkəzinin tərkibində olan elmi şura tədqiqat işinin aparılmasına icazə vermişdir.

Genetik analizlər formalinlə fiksasiya olunmuş parafin bloklarından (FFPE) əldə olunmuş DNT nümunələri üzərində QIAGEN (Cat. No. 56404) və EntroGene firmasının (EGFRRT-52) reagentləri ilə həyata keçirilmişdir. Çoxsaylı mutasiyalar daşıyan xəstələrin klinik xüsusiyyətləri və müalicə nəticələri retrospektiv şəkildə təhlil olunmuşdur. Bəzi analizlərin təsdiqi yeni nəsil sequins (NGS) və Doctor VIDA məşinində aparılıb.

Doctor Vida cihazı CE-IVD və ISO 13485 sertifikatlı olmaqla EGFR analizlərini sürətli və effektiv şəkildə aparmaq imkanı yaradır. Cihaz Portuqaliyanın Stab Vida kompaniyası tərəfindən təqdim olunmuşdur.

Doctor Vida cihazının təqdimatı və eləcə də analizlərin bu portativ cihazda təsdiqlənməsi məqsədi ilə analizlər Milli Onkologiya Mərkəzinin Molekulyar Onkologiya laboratoriyasında aparılmışdır.

Şəkildə göstərilirdi ki, xəstədən götürülmüş 5ml qan nümunəsindən əvvəlcədən bit metodu ilə hüceyrədən kənar bədxassəli şiş DNT fraqmentləri ayrılıb. Ondan sora isə lamp metodu ilə sintez olunmuş praymerlər vasitəsi ilə 1saat ərzində mutasiyanın aşkarlanması təsdiq olunur.

Doctor Vida® sisteminin təsdiqi. Eyni genomik DNT həmçinin Doctor Vida LAMP analizindən istifadə edərək Doctor Vida® avadanlığında təhlil edilib. Qısaca olaraq, hər bir DNT nümunəsindən 5 µL birbaşa üç reaksiya borusuna əlavə edildi: insan EGFR geninə nəzarət, p.L858R variantını aşkar etmək üçün xüsusi və ən tez-tez Exon 19 silinməsinə aşkar etmək üçün spesifik, p.E746_A750del.

Bütün borular otaq temperaturunda 5 dəqiqə inkubasiya edildi və sonra Doctor Vida® avadanlığından (STAB VIDA, Caparica, Portuqaliya) istifadə edilərək emal edildi. Nəticələr Doctor Vida mobil proqramı vasitəsilə real vaxt rejimində API serverinə köçürüldü və saxlanıldı.

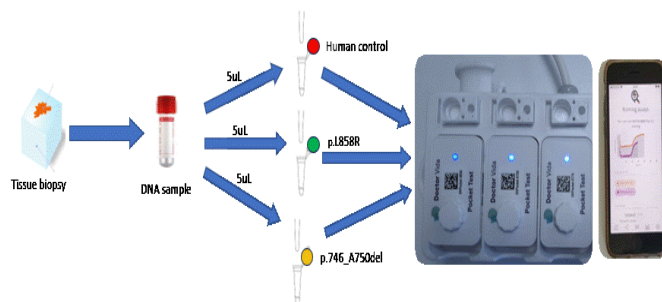
Nəticə vermək üçün məlumatlar 1 saat ərzində avtomatik olaraq təhlil edilib və mobil proqram vasitəsilə son istifadəçiyə təqdim edilib (şəkil 1).

NGS təsdiqi. Genomik DNT, KAPA HiFi HotStart ReadyMix® (Roche Sequencing Solutions, Pleasanton, CA, ABŞ) reaktivləri və LAMP üsulu üçün hazırlanmış xarici spesifik primerlər (F3 və B3) vasitəsilə PCR üsulu ilə çoxaldılmışdır.

Bu primerlər EGFR geninin 19 və 21-ci ekzonlarını hədəfləyirdi. Bioinformatik analiz CLC Genomics proqramı təminatı vasitəsilə həyata keçirilmişdir və Phred keyfiyyət göstəricisinin 30 və daha yüksək olması təmin olunmuşdur.

Orta sekvensləmə dərinliyi $\geq 10,000\times$ təşkil etmişdir və variant allel tezliyi (VAF) üçün aşağı hədd $\geq 1\%$ olaraq təyin edilmişdir.

Sekvens nəticələrinin müqayisəli analizi, uyğunlaşdırmanın optimizasiyası və variantların müəyyən edilməsi CLC Genomics Workbench proqramının 12-ci versiyası ilə aparılmışdır.



Şəkil 1. EGFR gen mutasiyalarının Doctor Vida cihazı ilə aşkarlanma prosesi.

Bu tədqiqatın əsas sonlanma nöqtəsi ümumi sağqalım (ÜS) olmuşdur. ÜS və onunla əlaqəli proqnostik amillər çoxdəyişənli analizlər vasitəsilə qiymətləndirilmişdir. Sağqalım ehtimalları Kaplan–Meier metodu ilə hesablanmış, qruplar arasındakı fərqlər log-rank testi ilə müqayisə olunmuşdur (şəkil 2).

Risk nisbətləri (hazard ratio) Mantel–Haenszel metodu ilə hesablanmışdır. Statistik əhəmiyyətlik üçün $p < 0.05$ (ikitarəfli) səviyyəsi qəbul edilmişdir. Bütün statistik təhlillər IBM SPSS Statistics proqramının 30.0 versiyası ilə aparılmışdır.

IV. NƏTİCƏ

Ümumi olaraq 507 ağciyər xərçəngi diaqnozu qoyulmuş xəstə tədqiqata daxil edilmişdir. Onlardan 492 xəstəyə adenokarsinoma, 15-i yastı hüceyrəli ağciyər xərçəngi diaqnozu qoyulmuşdur.

133 (26.23%) xəstənin bəd xassəli şiş materialında EGFR geninin mutasiyası aşkar edilmişdir. Bu mutasiyaların 85-i klassik, 38-i nadir, 6-sı isə ikili (kompleks) mutasiyalar olmuşdur (cədvəl 1).

İkili mutasiyalar daşıyan xəstələrdə morfoloji olaraq yalnız adenokarsinoma qeydə alınmışdır.

CƏDVƏL 1. AZƏRBAYCANDA AĞCIYƏR XƏRÇƏNGİ XƏSTƏLƏRİNDƏ EGFR MUTASIYALARININ BÖLGÜSÜ (N=133)

Klassik mutasiyalar	Nadir mutasiyalar	Kompleks mutasiyalar
85 (63.9%)	38 (28.5%)	6 (4.5%)

Cədvəldən göründüyü kimi klassik mutasiyalar daha çox xəstədə aşkar edilib. Onların L858R və ekson 19 delesiyaları olmaqla iki hissəyə bölünür. Cədvəl 2-də bu mutasiyaların təsnifatı verilib.

CƏDVƏL 2. AĞCIYƏR XƏRÇƏNGİ XƏSTƏLƏRİNDƏ AŞKARLANAN KLASSİK EGFR MUTASIYALARIN TƏSNİFATI (N=85)

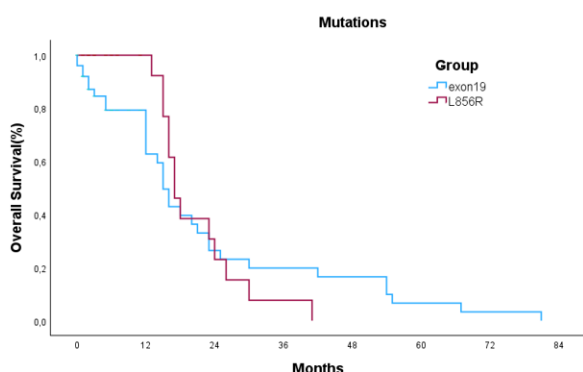
Exon 19del	L858R
61(77,7 %)	24 (22,3 %)

Nadir EGFR mutasiyaları olan xəstələrdə mutasiyaların müxtəlifliyi və terapeutik cavab fərqliliyi bu qrup pasiyentlər üçün fərdi və molekulyar əsaslı müalicə yanaşmalarının zəruriliyini göstərir. Say olaraq azlıq təşkil etsə də, klinik baxımdan yüksək əhəmiyyətə malik olduğunu özlüyündə sübut edir.

Exon19 və L858R mutasiyalarına malik pasiyentlər üçün median sağqalım müddətləri Kaplan–Meier metodu ilə hesablanmışdır.

Kaplan–Meier sağqalım əyriləri IBM SPSS Statistics (versiya 30.0) proqramında “Survival” proseduru vasitəsilə qurulmuşdur. Sağqalım müddəti zaman dəyişəni kimi daxil edilmiş, hadisə statusu isə binar dəyişən kimi kodlaşdırılmışdır (1 = hadisə baş verib, 0 = senzura olunub). Mutasiya qrupları arasındakı fərqlər log-rank testi ilə qiymətləndirilmişdir. Exon19 mutasiyası olan pasiyentlərdə median sağqalım müddəti 15.000 gün (95% etibarlılıq intervalı [Eİ]: 12.923–17.077 gün), L858R mutasiyası olanlarda isə 17.000 gün (95% Eİ: 14.651–19.349 gün) olaraq təyin edilmişdir.

Lakin bu iki mutasiya qrupu arasında sağqalım baxımından statistik olaraq əhəmiyyətli fərq müşahidə olunmamışdır ($p = 0.821$, log-rank testi), bu da EGFR mutasiyalarının bu iki alt növü arasında ümumi sağqalım baxımından mühüm fərqin olmadığını göstərir.



Şəkil 2. Klassik mutasiyası olan EGFR xəstələrində TKİ-lə müalicə və onun nəticələri.

Klassik mutasiyalı olan xəstələrdə TKİ-*arın* birinci xətt istehsalı olan “Erlotinib”-in işlədilməsi və alınan sağ qalma müddəti şəkil 1-də göstərilib. Xəstələrin sağ qalma müddəti exon 19del və L585R mutasiyası üçün uyğun olaraq 4,5 və 4,7 olmuşdur.

Nadir mutasiyalar birinci xətt TKİ-a həssas deyil və onlar daha çox üçüncü xətt TKİ-la müalicə olunmalıdırlar. Üçüncü nəsil TKİ-lərin baha başa gəlməsi səbəbindən, nadir mutasiyası olan ağciyər xərçəngi xəstələri tez-tez kimyaterapiyaya yönləndirilir. Bu isə həmin xəstələrdə həyat keyfiyyəti və sağ qalım müddətində potensial azalmaya səbəb ola bilər.

Kompleks mutasiyalar daşıyan QKHAX xəstələrində TKİ müalicəsinə cavab ümumilikdə qənaətbəxşdir və bir çox hallarda uzunmüddətli sağ qalım müşahidə olunur.

Bəzi xəstələrdə 5 ildən artıq sağ qalım qeydə alınmışdır ki, bu da ABŞ-da IV mərhələ QKHAX üçün orta hesabla 5 illik sağ qalım göstəricisi olan 9%-dən xeyli yüksəkdir [13]. Bu, həm molekulyar hədəflənmiş müalicələrin effektivliyini, həm də bu genetik profilə malik xəstələrdə fərdi yanaşmanın vacibliyini sübut edir. Əldə olunan nəticələr onu göstərir ki, kompleks mutasiyalar arasında EGFR T790M kimi müqavimət mutasiyası aşkarlanmamışdır. Bu, xəstələrin erkən mərhələdə TKİ-lərlə davamlı və düzgün müalicə aldıklarını və mutasiyaların daha sabit formasını daşıdıklarını göstərir. Bu sabitlik, klonal seleksiyanın az olması və xəstəliyin daha yavaş inkişafı ilə də əlaqələndirilə bilər.

Əlavə olaraq, bəzi xəstələrdə ağciyərin hər iki payında ayrıca əsaslı şişlərin olması, bu mutasiyaların inkişaf mexanizminin kompleksliyini və ehtimal edilən irsi meylləri vurğulayır.

Bu tip multifokal şişlərdə hər bir şişin molekulyar profilinin ayrı-ayrılıqda təhlili, fərqli klonların mövcudluğunu aşkar etməyə və daha fərdiləşdirilmiş terapiya strategiyalarını müəyyən etməyə imkan yaradır. 133 xəstənin 34 analizi həm real time həm də doctor vida da təsdiqlənib. Eyni zamanda 34 analizin NGS təsdiqi də vardır.

V. YEKUN

EGFR genində ikili (kompleks) mutasiyalar daşıyan QKHAX xəstələrinin klinik müşahidələri sübut edir ki, bu pasiyentlərdə tirozin kinaza inhibitorlarına qarşı davamlı və effektiv cavab mümkündür. Bu nəticələr fərdi yanaşmaya əsaslanan müalicə metodlarının inkişaf etdirilməsi baxımından böyük əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə, kompleks mutasiya profillərinin dərindən təhlili, xəstələrin TKİ-lərə cavab potensialını əvvəlcədən proqnozlaşdırmağa və optimal terapeutik protokolların seçilməsinə şərait yaradır.

Gələcəkdə bu mutasiyaların bioloji mənşəyinin və irsi faktorların daha dərindən araşdırılması hədəflənmiş müalicə strategiyalarının təkmilləşdirilməsinə mühüm töhfə verə bilər.

VI. MÜZAKIRƏ

Tədqiqatın nəticələri göstərdi ki, EGFR genində birinci xətt TKİs-i klissik mutasiyalarda müvəffəqiyyətlə işləyə bilər. Bu TKİ-lar daha ucuz və bu xəstələr üçün effektivdir. Bu qrupdan olan 9 xəstədə terapiyaya dirənc yaranmışdır. Onlardan 2xəstədə EGFR-in irsi T790M mutasiyası aşkarlanmışdır. T790M mutasiyası TKİ-lərə qarşı əldə edilmiş müqavimət mexanizmlərindən biri kimi tanınır və ikinci xətt və ya üçüncü nəsil TKİ-ların istifadəsini zəruri edir.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the National Oncology Center for supporting this research and providing access to patient data used in this study.

İSTİNADLAR

- [1] International Agency for Research on Cancer. Cancer Fact Sheets: Azerbaijan. <https://canscreen5.iarc.fr>
- [2] EGFR (epidermal growth factor receptor) - Atlas of Genetics and Cytogenetics in Oncology and Haematology. <https://atlasgeneticsoncology.org>
- [3] Cell Signaling Pathways – EGFR. Current Biology. <https://www.cell.com/current-biology>
- [4] Zhenfang D., Jinghan S., Yunkai Z., Nigaerayi H., Qi X., “et al.” Structure-Guided Strategies of Targeted Therapies for Patients with EGFR-Mutant Non-Small Cell Lung Cancer. *Biomolecules* 2023, 13(2), 210.
- [5] Yun, C.H., Boggon, T.J., Li, Y., Woo, M.S., “et al.” Structures of lung cancer-derived EGFR mutants and inhibitor complexes: Mechanism of activation and insights into differential inhibitor sensitivity. *Cancer Cell* 2007, 11, 217–227.
- [6] Ruan, Z., Kannan and N. Altered conformational landscape and dimerization dependency underpins the activation of EGFR by alphaC-beta4 loop insertion mutations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2018, 115, E8162–E8171
- [7] Yan, X.E., Ayaz, P., Zhu, S.J., Zhao, P., “et al.” Structural Basis of AZD9291 Selectivity for EGFR T790M. *J. Med. Chem.* 2020, 63, 8502–8511.
- [8] Jacquelyne P R. and Xiuning L. Structure-based classification predicts drug response in EGFR-mutant NSCLC. *Nature.* 2021. 15;597(7878):732–737.
- [9] Rosell R. Erlotinib versus standard chemotherapy as first-line treatment for European patients with advanced EGFR mutation-positive non-small-cell lung cancer (EORTAC): a multicentre, open-label, randomised phase 3 trial. *Lancet Oncol.* 2012;13:239–246.
- [10] Soria J.C. Osimertinib in untreated EGFR-mutated advanced non-small-cell lung cancer. *N. Engl. J. Med.* 2018;378:113–125.
- [11] Ramalingam S.S. Overall survival with osimertinib in untreated, EGFR-mutated advanced NSCLC. *N. Engl. J. Med.* 2020;382:41–50.
- [12] Massarelli E., Johnson F.M., Erickson H.S., Wistuba I.I. and Papadimitrakopoulou V. Uncommon epidermal growth factor receptor mutations in non-small cell lung cancer and their mechanisms of EGFR tyrosine kinase inhibitors sensitivity and resistance. *Lung Cancer.* 2013;80:235–241.
- [13] Castaneda-Gonzalez JP. Verywell Health. Lung Cancer with EGFR Mutation. <https://www.verywellhealth.com/lung-cancer-with-an-egfr-mutation-4097338>

Optimizing Indoor Air Quality and Reducing Costs Through Ethernet-Powered Sensor Networks: A BASF Case Study and Benefits for Azerbaijan

Patrick Graefen
BASF SE, Germany
patrick.graefen@basf.com

Abstract – Indoor air quality (IAQ) is a critical component of environmental health, affecting human wellbeing, productivity, and energy use. This study examines a case where an Ethernet-powered sensor network (using Power over Ethernet, PoE) was deployed at a BASF facility to monitor and optimize IAQ. The deployment enabled real-time data collection and dynamic HVAC control, resulting in improved air quality and significant energy cost savings. Data-driven heat maps revealed spatial and seasonal IAQ patterns, guiding targeted ventilation and filtration adjustments. IAQ improvements have well-documented benefits for human health and cognitive performance. The discussion highlights the implications for Azerbaijan, a nation facing environmental challenges, by demonstrating how sensor networks and best practices can enhance building air quality, support public health, and align with energy efficiency goals. The article concludes that integrating such smart IAQ management systems in Azerbaijani buildings could yield economic and health advantages, supporting sustainable development initiatives.

Keywords: *Indoor Air Quality; Ethernet-Powered Sensors; Environmental Monitoring; Digital Health Infrastructure; HVAC Optimization.*

I. INTRODUCTION

Indoor air quality (IAQ) plays a pivotal role in human health and productivity, especially given that people spend most of their time indoors. Poor IAQ is linked to respiratory ailments, reduced cognitive function, and other health problems. For instance, atmospheric air pollution has been shown to drive the spread of certain diseases, and regions with lower emissions tend to exhibit better health and human development outcomes [1]. Indoor IAQ improvements could alleviate healthcare burdens and align with broader sustainability goals [2]. Improving IAQ is not only a health imperative but also a socio-economic one, as healthier indoor environments contribute to a higher quality of life and workforce efficiency. Research indicates that employees in well-ventilated “green” office environments – characterized by low carbon dioxide (CO₂) levels and minimal pollutants – scored **61% higher on cognitive function tests** compared to when they worked in conventional office conditions [3]. This underscores that optimizing IAQ can enhance human capital performance alongside health outcomes.

Azerbaijan provides a compelling context for focusing on IAQ innovations. The country has long grappled with environmental challenges stemming from its industrial heritage. Oil exploration around Baku since the 1870s introduced large-scale pollution, which expanded further during the Soviet period with industrialization and intensified

oil extraction [4]. Today, Azerbaijan’s environmental pollution affects all elements of nature – air, water, and soil – and air quality in urban centers remains a concern. In the post-independence era, Azerbaijan began implementing environmental programs and collaborating with international organizations to address these issues. However, much of the focus has been on outdoor environmental pollution and remediation of soil and water [4].

Indoor environments, where citizens live and work daily, have received relatively less attention. Given that **air pollution directly affects the health of the population**, including indoors, advancing IAQ monitoring and control is a natural next step in Azerbaijan’s environmental policy [1]. Protecting public health by creating favorable living and working environments is essential for sustainable socio-economic development.

BASF, as a global chemical company known for innovation and sustainability initiatives, offers a useful case study for modern IAQ management. BASF has aimed to improve environmental performance not only in its manufacturing processes but also in its offices and research facilities.

In this study, we examine a BASF pilot deployment of an Ethernet-powered sensor network to optimize IAQ. We describe how this technology works, present the methodology and data from the case study (including seasonal variations and HVAC optimizations), and discuss the results in terms of air quality improvements, energy savings, and human health benefits. Finally, we explore the implications of these findings for Azerbaijan; suggesting how similar approaches could be adopted to improve building environments, reduce energy costs, and advance public health and quality of life.

II. TECHNOLOGY OVERVIEW:

ETHERNET-POWERED SENSOR NETWORK FOR IAQ

Advances in sensor and networking technology have made it feasible to continuously monitor IAQ across large buildings in high detail. In particular, Ethernet-powered sensor networks refer to systems of distributed IAQ sensors that are both powered and connected via Ethernet cables using Power over Ethernet (PoE) technology. Each sensor node can measure parameters such as CO₂ concentration, particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), temperature, humidity, and volatile organic compounds (VOCs).

PoE provides electrical power along with data connectivity over a single cable, eliminating the need for separate power supplies or frequent battery replacements. This simplifies installation and maintenance, especially in commercial

buildings that often have existing Ethernet infrastructure. It also ensures reliable data transmission in real time.



Figure 1. BASF developed Indoor Air Quality Sensor.

A key advantage of deploying a dense network of IAQ sensors is the ability to capture spatial variability of air quality within a building. Traditional HVAC systems may rely on a small number of thermostats or single-point CO₂ sensors for an entire floor or zone, which can miss localized problems (for example, high CO₂ in a crowded conference room or a pocket of pollutants near a source). By contrast, a network of PoE sensors allows for high-resolution “heat maps” of environmental conditions.

The **rapid development of low-cost, unobtrusive sensors has greatly expanded the scope of indoor air pollution monitoring**, enabling detailed measurements that were previously impractical [5]. Data from these sensors can be integrated into a building management system (BMS) or Internet of Things (IoT) platform. In our case study, the sensors streamed data to a central dashboard that visualized IAQ metrics in real time and over time.

The Ethernet-powered approach also supports Power over Ethernet (IEEE 802.3af/at standards), which can deliver up to 15–30 watts per device – sufficient for typical IAQ sensor modules with on-board computing and communication. This means devices like air quality monitors (including CO₂ NDIR sensors, laser particle counters, etc.) can operate continuously with stable power, ensuring data fidelity. Moreover, leveraging PoE for sensors fits well with **smart building** initiatives, where lighting, sensors, and even actuators (like window openers or vents) can be networked and power-supplied through unified cabling.

The result is an integrated system capable of both monitoring and actuating changes to optimize conditions. In summary, the Ethernet-powered sensor network offers reliability, ease of deployment, and scalability – making it a compelling choice for retrofitting existing buildings to be smarter and healthier.

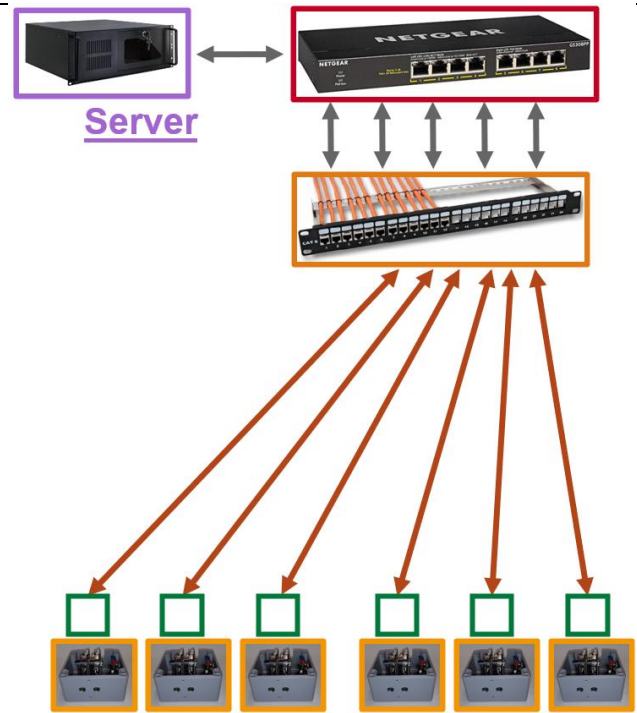


Figure 2. Sample simplified schematic Network configuration with Server, POE-Switch, Patchpanel and Sensors.

A. III. METHODOLOGY: BASF CASE STUDY DEPLOYMENT

A. Site and System Description

The case study was conducted at a BASF office and laboratory facility (approximately 5,000 m² across two floors). Before the intervention, the building’s HVAC system operated on fixed schedules with limited feedback from environmental sensors (typical of many older commercial buildings). We installed a network of 40 PoE-powered IAQ sensor nodes throughout the building: roughly 20 per floor at strategic locations (open-plan office areas, meeting rooms, corridors, and near air returns). Each sensor node measured CO₂ (ppm), temperature (°C), relative humidity (%), and particulate matter (µg/m³ for PM_{2.5}). A subset of sensors also measured total volatile organic compounds (TVOC) in parts-per-billion, especially in areas like labs or printing stations where chemical off-gassing might occur. The sensors were connected via Category-6 Ethernet cabling to PoE network switches, which in turn linked to a central server running the data acquisition and analytics software.

B. Data Collection and Heat Mapping

The system recorded IAQ data at 1-minute intervals continuously over 12 months, capturing full seasonal cycles. The high spatial density of sensors enabled the creation of real-time IAQ maps. For analysis, we aggregated data into 15-minute averages to smooth out momentary spikes and then generated hourly snapshots of the spatial distribution of key parameters. Heat map visualization was used to identify “hotspots” of poor air quality. For example, conference rooms often showed sharply higher CO₂ levels during meetings, and

certain low-ventilation corners accumulated higher particulate levels. The server software plotted these as color-coded floor plans. Figure 3 below illustrates a sample CO₂ concentration heat map for one floor during a busy afternoon. Warmer colors (yellow/orange) indicate areas with elevated CO₂ (approaching 1200–1400 ppm), while cooler colors (purple) indicate cleaner air (~500–600 ppm). The cyan “X” markers denote sensor locations. This visualization allowed facility managers to see at a glance where fresh air was needed most.

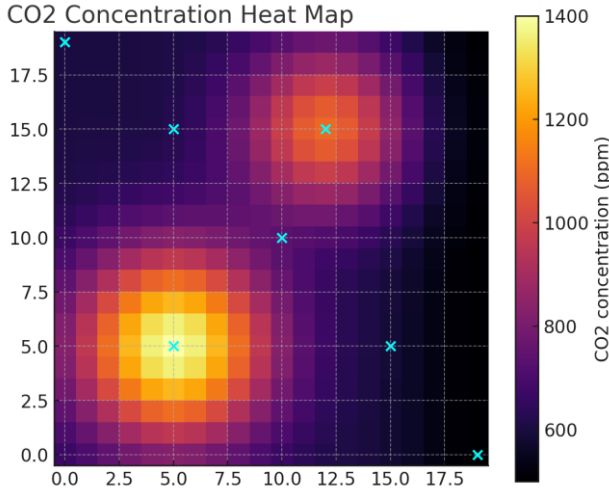


Figure 3. Heat map of CO₂ concentrations (in parts per million) on a Building floor during occupied hours. A higher concentration (yellow) is observed in a meeting area with many occupants, while lower levels (purple) are near well-ventilated zones. Such maps enabled targeted ventilation adjustments in the BASF facility.

C. HVAC Integration and Control Strategy

The sensor network was integrated with the building’s HVAC control system to enable dynamic adjustments. We implemented a demand-controlled ventilation (DCV) strategy: when CO₂ levels in a zone exceeded a set threshold (e.g., 1000 ppm, indicating high occupancy or poor ventilation), the system increased the fresh air intake or fan speed for that zone. Similarly, if particulate levels rose above acceptable levels (e.g., due to outdoor air pollution episodes or indoor activities), the HVAC system temporarily increased filtration (by ramping up circulation through filters) or signaled an alert for localized remediation. During periods of low occupancy (e.g., evenings, or areas of the building that were unoccupied), the system reduced ventilation rates to conserve energy, as long as air quality metrics remained within safe ranges. This approach required defining setpoints based on standards and guidelines (such as ASHRAE recommended CO₂ levels and WHO indoor air quality guidelines for pollutants) [6, 7]. We also incorporated hysteresis and time delays to prevent rapid oscillations of HVAC settings (for example, requiring a threshold to be exceeded for 5 continuous minutes before triggering increased ventilation).

D. Data Analysis

Over the course of the year, data were analyzed for both spatial patterns and temporal trends. We examined daily IAQ cycles, weekday/weekend differences, and seasonal variations.

One aspect of interest was how IAQ changed with seasons – for instance, winter months (when windows remained closed, and heating was on) versus spring or autumn (with potential for natural ventilation). Energy use data from the HVAC system (electricity for fans, cooling and heating energy) were collected to compare periods before and after the sensor-driven optimization. We computed metrics such as average and peak CO₂ levels per zone, average PM_{2.5} levels, and HVAC energy consumption (kWh) per month. These were used to quantify improvements in air quality and any trade-offs or savings in energy. In addition, building occupants were surveyed regarding their perceived air quality and comfort before and after the intervention, to qualitatively assess improvements (though these results are outside the scope of this technical analysis, they provided supportive feedback that IAQ was noticeably better).

IV. RESULTS AND DISCUSSION

Air Quality Improvements: The implementation of the sensor network and adaptive HVAC control led to markedly better IAQ throughout the BASF building. CO₂ concentrations, which previously often spiked well above 1000 ppm in conference rooms and crowded offices, were maintained at lower levels. After deployment, peak CO₂ in the worst locations dropped to around 800–850 ppm, a reduction of roughly 15–20% in peak concentration. Building-wide average CO₂ level during occupied hours fell from ~800 ppm to ~650 ppm. Particulate matter levels (PM_{2.5}) also improved. For example, the average PM_{2.5} concentration in the lab areas reduced from 12 µg/m³ to 8 µg/m³ (a ~33% decrease) after optimizing filtration schedules and identifying particulate sources. Table 1 summarizes key IAQ metrics before and after the intervention.

TABLE 1. IAQ METRICS BEFORE AND AFTER THE INTERVENTION

Metric	Baseline (Before)	After Optimization
Peak CO₂ (ppm, worst-zone)	1200 ppm	850 ppm (~30%)
Average CO₂ (ppm, work hours)	800 ppm	650 ppm (~19%)
Avg. PM_{2.5} (µg/m³, lab zone)	12 µg/m ³	8 µg/m ³ (~33%)
Ventilation rate (average)	Constant 100% during hours	Demand-controlled (50–100% based on need)
Complaints of “stuffy air”	Frequent (weekly)	Rare (few over months)

Notably, areas that had been prone to “stale air” (high CO₂) saw immediate improvement with the DCV strategy – the system delivered fresh air right when and where it was needed. Conversely, during low occupancy, unnecessary over-ventilation was curtailed. These findings reinforce the value of granular monitoring: without the multi-sensor network, the building management would not detect many of these spatial IAQ issues. By addressing them, BASF improved compliance with indoor air standards and enhanced occupant comfort.

Energy and Cost Savings: A key outcome of this project was that better IAQ did not come at the expense of higher energy usage – in fact, the opposite. The intelligent HVAC

control led to a **reduction in energy consumption** compared to the baseline. In the year following sensor integration, the facility’s HVAC electricity use dropped by about 15%. This translated to approximately 18,000 kWh of electricity savings over the year, alongside reductions in heating energy usage due to less frequent over-ventilating in winter. The savings were achieved largely by throttling down ventilation in areas and times when it was not needed, an efficiency gain that outweighed the extra energy used when boosting ventilation in high-CO₂ moments. Essentially, the system delivered air changes *when* and *where* necessary, rather than running all fans at full speed continuously. An additional benefit was peak demand reduction – by staggering ventilation and HVAC load according to real needs, the facility reduced its peak electrical demand, which can lower demand charges in utility bills.

Human Capital and Health Benefits: The improvements in IAQ carry significant implications for occupant health and productivity. While the BASF case study did not directly measure health outcomes, we can extrapolate from established research. Better ventilation and lower CO₂ levels are associated with reduced risk of headaches, drowsiness, and “sick building” symptoms among workers. In our post-implementation survey, employees subjectively reported feeling less lethargic in late afternoons, correlating with the measured drop in CO₂ accumulation. This aligns with controlled studies in the literature where cognitive function and decision-making perform substantially better under cleaner indoor air conditions [3]. By maintaining CO₂ around 650–800 ppm instead of 1200+ ppm, the BASF facility moved into the range of “green” building conditions that yielded 61% higher cognitive scores in simulations [3]. Furthermore, maintaining lower particulate and VOC levels can reduce respiratory irritations and illness. For example, [3] notes that air pollution has a direct effect on population health and is tied to the spread of infectious diseases. It stands to reason that improving indoor air – where people have more immediate exposure – would help decrease incidents of illness (such as reducing transmission of airborne infections in the workplace by improving ventilation). Over time, healthier indoor environments could lead to fewer sick days and improved overall well-being of employees. Such human capital benefits, though harder to quantify in dollars, are critical for organizations and economies.

Another important observation is the **mismatch that can occur between outdoor and indoor air quality**. This case demonstrated that even when ambient (outdoor) air quality was relatively acceptable, certain indoor micro-environments had issues – validating the need for dedicated IAQ monitoring. Conversely, during days when outdoor pollution (from traffic or industry) spiked, the indoor sensors caught corresponding rises in indoor particulate levels (albeit dampened by filters), prompting temporary increases in filtration. This ability to dynamically respond ensures that occupants are protected regardless of external conditions. It echoes findings from residential IAQ studies: one recent study using low-cost sensors across homes found indoor PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations were often higher and more variable than outdoor levels, and that even in areas meeting outdoor air standards, unhealthy concentrations can occur indoors [5].

These results highlight why **monitoring indoor air pollution is crucial**, as people might otherwise be unknowingly exposed to poor air quality in their homes or workplaces [5]. The BASF deployment provided a proactive way to manage that risk in a commercial setting.

Seasonal Trends: Data analysis over a year unveiled seasonal patterns in IAQ. During winter months, CO₂ levels tended to build up more, likely because the building was sealed against the cold and natural ventilation (opening windows) was minimal; the heating system also kept air recirculating. The sensor system caught this and the DCV ensured sufficient fresh air, though at the cost of some heating energy. In spring and autumn, when outdoor temperatures were mild, there were opportunities for free cooling and ventilation – the system occasionally advised opening vents/windows when outdoor air was of good quality, reducing reliance on mechanical cooling. Summertime introduced challenges with maintaining humidity and filtering outdoor pollutants (like ozone or smog) – the network’s VOC and particulate readings helped adjust recirculation vs. intake to balance air quality with cooling needs. The rich dataset will allow further analysis, for instance, to fine-tune HVAC setpoints each season for optimal trade-offs. It also provides a baseline for long-term tracking of building IAQ and performance, aiding facility management in preventive maintenance (e.g. knowing when filters are getting clogged if baseline particle levels start rising).

In summary, the BASF case study demonstrates that **Ethernet-powered sensor networks can simultaneously improve indoor air quality and reduce operational costs**. The combination of granular monitoring and smart control yielded a healthier environment and tangible savings. This addresses a common skepticism that increasing ventilation or air purification always costs more energy—intelligent control ensures energy is used more efficiently. These findings are especially relevant to other buildings and regions aiming to modernize their environmental controls. We next discuss how such approaches could be applied in the context of Azerbaijan.

B. V. IMPLICATIONS FOR AZERBAIJAN

Azerbaijan stands to gain significant benefits by adopting Ethernet-powered IAQ sensor networks and associated smart building practices. As noted earlier, Azerbaijan’s major environmental issues have historically included oil-related pollution and ecological degradation [4]. In recent decades, the nation has taken steps toward an “independent environmental policy,” enacting programs and seeking international cooperation to solve these problems. However, to date, indoor environmental quality has not been a focal point of policy [4]. The success of the BASF case study can inform Azerbaijani initiatives in the following ways:

- **Policy and Standards:** Developing national **IAQ standards and guidelines** for buildings would be a foundational step. This could involve setting acceptable limits for indoor CO₂, PM_{2.5}, VOCs, etc., in line with WHO or international standards. Authorities could integrate IAQ criteria into building codes and green building certification programs in Azerbaijan. As [4] suggests, the country should **put into effect modern**

environmental standards and consider technological and administrative measures as a whole. IAQ monitoring networks are a prime example of applying modern tech standards to improve environmental health indoors.

- **Public Buildings as Pilots:** Government and public buildings (such as offices, schools, universities, and hospitals) are ideal starting points to implement sensor networks. Demonstration projects could be launched to retrofit a few public buildings with PoE IAQ sensors and smart HVAC controls. This would showcase the benefits and build local expertise. For instance, schools with better IAQ could see improved student performance and attendance, echoing the cognitive gains observed in studies (Allen et al., 2016). Hospitals with cleaner air can reduce risks for patients and staff. Early success in public-sector pilots can catalyze broader adoption.
- **Economic and Energy Advantages:** Azerbaijan’s economy, while benefiting from oil and gas exports, also faces the need for energy efficiency and diversification. Implementing smart ventilation can contribute to energy savings at a national scale. Buildings account for a substantial share of energy consumption; making them more efficient aligns with sustainable development goals. The BASF example showed ~15% HVAC energy savings – if similar systems were scaled across many large buildings in Baku and other cities, the aggregate energy savings would be significant. This also translates to cost savings for both the public sector and private businesses, freeing up resources for other investments. Reducing electricity and fuel usage for heating/cooling helps lower carbon emissions as well, supporting Azerbaijan’s climate commitments.
- **Health and Human Capital:** Perhaps the most important benefit for Azerbaijan is improved public health. Urban Azeri populations, especially in cities like Baku, are exposed to a combination of outdoor and indoor pollutants. WHO data supports, that reductions in indoor pollution lower risks of respiratory and cardiovascular disease [7]. Given that Azerbaijan’s air pollution accounts for 11.5% of deaths [2], replicating this strategy could yield profound public health gains. By ensuring good IAQ in workplaces and homes, the government can tackle a less visible but impactful aspect of environmental health. **Human welfare and quality of life depend greatly on environmental quality**, and this includes the air people breathe indoors. Over time, better IAQ could reduce healthcare burdens from asthma, allergies, and other pollution-exacerbated conditions [1]. It can also enhance workforce productivity nationally – healthier, more alert workers contribute to economic growth. This linkage between environment and development is reflected in Huseynova’s finding of a strong correlation between environmental quality and the Human Development Index in Azerbaijani regions. In essence, investing in IAQ is investing in human capital.

- **Technological Capacity Building:** Adopting sensor network solutions will encourage knowledge transfer and capacity building in Azerbaijan. Local professionals (engineers, IT specialists, facility managers) will gain experience with IoT systems, data analysis, and integrated building design. This aligns with recommendations to study and adopt best practices of developed countries for solving environmental problems [4]. International collaboration could be pursued: for example, partnerships with companies like BASF or technology providers to train local teams in deploying and maintaining these systems. In the long run, Azerbaijan could even develop its own innovations (e.g., adapting sensors to local needs, integrating with traditional building designs, or developing software tailored for Azerbaijani climate and usage patterns).

Challenges to implementation in Azerbaijan do exist. These include upfront costs, the need to upgrade older HVAC infrastructure to interface with smart controls, and the necessity of reliable internet/Ethernet networks in buildings. However, the costs of sensors and networking have been dropping, and the return on investment from energy savings and health benefits can be substantial. Government incentives or subsidies could help kick-start adoption—for instance, offering tax breaks or grants for companies that install approved IAQ monitoring systems. Public awareness campaigns can also educate businesses and homeowners about the importance of IAQ, creating demand for such technologies. Given Azerbaijan’s robust ICT sector growth and interest in smart city concepts (for example, plans to modernize infrastructure in newly developed regions), integrating environmental sensors is a logical step forward.

In conclusion of this section, the BASF case study exemplifies the kind of modern, data-driven approach that Azerbaijan can leverage in its **“search for solutions” to environmental problems** [4]. By focusing not only on cleaning up outdoor pollution but also on optimizing indoor environments, Azerbaijani authorities and enterprises can achieve a healthier population and more efficient economy. The synergy of improved public health, energy efficiency, and technological advancement makes IAQ optimization a highly relevant goal for the country’s future.

VI. CONCLUSION

This study presented an academic and practical examination of how optimizing indoor air quality using an Ethernet-powered sensor network can yield both health and economic benefits. The BASF case study demonstrated that a dense network of PoE IAQ sensors, coupled with intelligent HVAC controls, significantly improved indoor air conditions (lower CO₂, reduced particulate levels) while also reducing energy consumption and costs. These improvements align with broader findings in environmental health research: better air quality translates to better human performance, wellbeing, and even macro-level development indicators (Allen et al., 2016; Huseynova, 2024). The case study’s success supports the notion that investments in smart building technology are not merely a cost but rather a high-return strategy in the long run –

through energy savings, enhanced productivity, and health care cost avoidance.

For Azerbaijan, a nation progressing through environmental recovery and modernization, the insights from this study are timely. Implementing Ethernet-powered sensor networks in buildings can be a cutting-edge component of Azerbaijan’s environmental strategy, extending its efforts from outdoor pollution control to the indoor environments where people spend most of their lives. The benefits identified – from policy enablement and energy efficiency to public health improvement – align closely with Azerbaijan’s sustainable development goals and commitments to improve quality of life for its citizens. By adopting such technologies, Azerbaijan can take a leap forward, applying *best practices of developed countries* and innovative solutions to its own context. (Huseynova, 2024)

Future work could explore scaling this approach to multiple buildings and conducting longitudinal studies on health outcomes. There is also potential to incorporate machine learning algorithms to further optimize HVAC responses or predict IAQ issues before they arise (for example, forecasting days with likely high indoor pollutant levels based on weather or usage patterns and taking preemptive action). Additionally, expanding the array of sensors (to detect specific gases like formaldehyde or radon where relevant, or to monitor sound and light for a more comprehensive indoor environment quality profile) could provide a holistic view of indoor environmental quality. The integration of such sensor networks with city-wide smart systems could eventually allow Azerbaijan’s city planners to monitor and manage environmental quality at neighborhood or city scale, bridging indoor and outdoor data for optimal public health strategies.

In conclusion, optimizing IAQ through Ethernet-powered sensor networks represents a confluence of environmental science, engineering, and public policy. The BASF case study underscores that with the right technology and strategy, it is possible to create indoor environments that are both healthy for people and cost-effective to operate. As countries like Azerbaijan continue to seek solutions for their environmental challenges, embracing innovative IAQ management can play a crucial role in safeguarding human health and enhancing quality of life, all while advancing economic efficiency and sustainable development.

REFERENCES

- [1] T. M. Huseynova, “*Influence of the Environment on Human Health and Quality of Life (on the example of the Greater Caucasus of the Republic of Azerbaijan)*”, *Geography and Water Resources*, 2024(1), 32-40.
- [2] E. Webb, T. Gulu, “Health Systems in Action (HSiA) Insights – Azerbaijan, 2024”, *European Observatory on Health Systems and Policies*, WHO Regional Office for Europe.
- [3] J. G. Allen, P. MacNaughton, U. Satish, S. Santanam, J. Vallarino, J. D. Spengler, “*Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers*”, *Environmental Health Perspectives*, 2016, 124(6), 805–812. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1510037>
- [4] G. Bayramli, “*The Environmental Problems of Azerbaijan and the Search for Solutions*”, *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2020, 16(42), 425-434.
- [5] C. J. Rathbone, D. Bousiotis, O. G. Rose, F. D. Pope, “*Using low-cost sensors to assess common air pollution sources across multiple residences*”, *Scientific Reports*, 2025, 15, Article 1803.
- [6] A. Persily, W. Bahnfleth, H. Kipen, J. Lau, C. .Mandin, C. Sekhar, P. Wargocki, L. Nguyen Weekes, “ASHRAE’s New Position Document on Indoor Carbon Dioxide, Indoor Air 2022 - 17th International Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate, Kuopio, FI, 2022, https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=934218
- [7] World Health Organization. (2010). “WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants”, WHO Regional Office for Europe. ISBN 978 92 890 0213 4

SPARC və TGF- β Qarşılıqlı Təsirinin Rəqəmsal Texnologiyalarla Mexaniki Analiz Üsulları və Onkologiyada Terapevtik Potensialı

Banu Astanova¹, Sevda Mahmudova²

^{1,2} ETN Biofizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹Bakı Dövlət Universiteti Bakı, Azərbaycan

¹banu.aghmalievaa@gmail.com, ²mahmudovasevda96@gmail.com

Xülasə— SPARC (Secreted Protein, Acidic, and Rich in Cysteine) ailəsi zülalları hüceyrə proliferasiyası, differensiasiyası və hüceyrədənkənar matriksin (ECM) yenidən formalaşması kimi prosesləri tənzimləyən TGF- β (Transforming Growth Factor Beta) signal yolu ilə qarşılıqlı əlaqədədir. SPARC TGF- β qarşılıqlı təsiri hüceyrələrin bir-birinə və ya hüceyrəxarici matrisə bağlanmasına, miqrasiyasına və şiş mikromühitinin immun reaksiya modulyasiyasına təsir göstərərək şişin inkişafında iştirak edir. Bu mexaniki qarşılıqlı əlaqələrin başa düşülməsi terapevtik potensiala malikdir, çünki SPARC və TGF- β yollarının hədəflənməsi fibrotik xəstəliklər və müəyyən xərçəng növləri üçün yeni müalicə üsulları təmin edə bilər. Bu məqalədə, SPARC və TGF- β qarşılıqlı təsirinin molekulyar və mexaniki əsasları, eləcə də onların potensial terapevtik hədəf kimi istifadəsi, müasir rəqəmsal texnologiyalar, xüsusilə də bioinformatika, sistem biologiyası və süni intellekt alqoritmləri kontekstində təhlil olunur.

Açar sözlər: SPARC, TGF- β , fibroz, hüceyrəxarici matrisə (ECM).

I. GİRİŞ

SPARC zülal ailəsi hüceyrələrlə hüceyrəxarici mühit arasındakı qarşılıqlı əlaqələri modulyasiya edir. Onlar hüceyrəxarici matriksin (ECM) yığılması və böyümə faktoru signalını tənzimləyir. SPARC ailəsinə daxil olan zülalların ümumi üç domeni var: N-terminal turşulu domen, sisteinlə zəngin follistatin bənzəri (FS) domen və EF əl motivinə malik α -spiral hüceyrəxarici kalsium bağlayan domen [1].

SPARC hüceyrəxarici zülaldır və qlikoprotein kimi fəaliyyət göstərir. Əhəmiyyətli dərəcədə, onun ekspressiyası yüksək dövretmə sürətinə malik epitel hüceyrələrində, məsələn, bağırsaq, dəri və vəz toxumasında, toxuma zədələnməsi və iltihab zamanı və neoplaziya ilə əlaqəli qeyri-normal toxuma böyüməsi şəraitində artır, bu da onun toxuma regenerasiyasında öz əhəmiyyətini göstərir [2].

SPARC bir matrisasellülar zülal olaraq ECM komponentləri ilə hüceyrə səthində əlaqə yaradır və hüceyrə-ECM əlaqələrini tənzimləyir [3].

Hüceyrə səthində yerləşməsi ilə ECM komponentlərini birləşdirərək toxuma strukturlarını möhkəmləndirir və hüceyrələrin differensiasiyasına, miqrasiyasına və proliferasiyasına təsir göstərir. TGF- β isə hüceyrə

diferensiasiyası və proliferasiyanı tənzimləyən çox əhəmiyyətli bir signal zülalıdır və fibroz, iltihab və xərçəng kimi xəstəliklərlə sıx əlaqəlidir [4].

SPARC və TGF- β arasında mühüm qarşılıqlı təsirlərdən biri ECM yığılmasını fəallaşdırmaqdır. TGF- β , fibroblastların fəallaşmasını və ECM komponentlərinin, xüsusilə kollagenin ifrazını stimullaşdırır [5]. SPARC isə kollagen fibrillərinin təşkilini və sabitliyini təmin edərək TGF- β vasitəsilə baş verən ECM yığılmasını dəstəkləyir [2]. Bu qarşılıqlı təsirlər fibroz prosesini sürətləndirərək fibrotik xəstəliklərin inkişafına səbəb olur [1].

SPARC-ın TGF- β signal yolu ilə əlaqələndirilərk həddindən artıq ECM istehsalını artırması fibrotik xəstəliklərin dərinləşməsinə səbəb olan əsas mexanizmlərdən biridir.

II. MÜXTƏLİF XƏRÇƏNG NÖVLƏRİNDƏ SPARC VƏ TGF- β EKSPRESSİYASININ BIOİNFORMATİK TƏHLİLİ

SPARC və TGF- β signal zülallarının müxtəlif xərçəng növlərində ekspressiya səviyyələri, onların şiş mikromühiti (TME) və xəstəlik proqnozuna təsiri ilə sıx şəkildə əlaqəlidir. Aşağıdakı cədvəldə bu molekulların ekspressiya səviyyələri və onların klinik əhəmiyyəti ümumiləşdirilmişdir (cədvəl 1).

Cədvəl 1 göstərir ki, SPARC daha çox stromal hüceyrələrdə (məsələn, xərçənglə əlaqəli fibroblastlar – CAF-lar) ekspressiya olunur və toxuma strukturlarının dəyişməsinə iştirak edir.

TGF- β yalnız stromal hüceyrələrdə deyil, həmçinin immun hüceyrələrdə və şiş hüceyrələrinin özlərində geniş şəkildə ekspressiya olunaraq invaziya, metastaz və immun yayındırma kimi prosesləri fəallaşdırır.

CƏDVƏL 1. MÜXTƏLİF XƏRÇƏNG NÖVLƏRİNDƏ SPARC VƏ TGF- β EKSPRESSİYASININ MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ VƏ ONLARIN KLİNİK ƏHƏMİYYƏTİ

Xərçəng növü	SPARC ekspressiyası	TGF- β ekspressiyası	Klinik Əhəmiyyəti
Pankreatik adenokarsinoma	Stroma və CAF-larda yüksək	Mikromühitdə çox yüksək	Desmoplaziya və kimyaterapiyaya zəif cavabla əlaqəlidir
Süd vəzi xərçəngi (üçqat neqativ)	Aqressiv alt tiplərdə artmış	Orta və yüksək	Metastaz və EMT ilə əlaqəli
Kolorektal xərçəng	Şiş stromasında yüksək	Gec mərhələlərdə yüksək	İnvaziya və ECM yenidən qurulmasına səbəb olur
Adenokarsinoma (ağciyər)	Dəyişkən; stromada yüksək	Şişdə və mikromühitdə yüksək	Yüksək TGF- β = zəif sağqalma
Yumurtalıq xərçəngi	Stromal SPARC yüksək	TGF- β şiş böyüməsini tənzimləyir	TGF- β inhibitorları müalicəyə həssaslığı artırır
Glioblastoma	Orta səviyyədə SPARC	Hipoksik zonalarda yüksək	TGF- β immün yayınma və angiogeneza ilə əlaqəli
Melanoma	İnvaziv lezyonlarda yüksək	TGF- β metastazı təşviq edir	İkqat inhibisiya hüceyrə miqrasiyasını azaldır

CƏDVƏL 2: SPARC VƏ TGF- β ZÜLALLARININ BIOİNFORMATİK YANAŞMALARLA TƏHLİLİ ÜÇÜN İSTİFADƏ OLUNAN VERİLƏNLƏR BAZASI

Verilənlər bazası	Təsvir	Tətbiq sahəsi	Nümunə Tədqiqat
AlphaFold	Proteinlərin üçölçülü strukturlarını proqnozlaşdırır	SPARC və TGF- β zülallarının struktur proqnozu	SPARC və TGF- β arasındakı qarşılıqlı təsir sahələrinin proqnozlaşdırılması
SwissModel	Homoloji modelləşdirmə ilə protein strukturu yaradılması	SPARC və TGF- β zülallarının qarşılıqlı təsir sahələri	SPARC və TGF- β əlaqəsinin analizi
GROMACS	Molekulyar dinamik simulyasiyalar aparır	SPARC və TGF- β -nin ECM ilə qarşılıqlı təsiri	ECM ilə qarşılıqlı əlaqənin simulyasiyası
Cytoscape	Protein-protein qarşılıqlı təsir şəbəkələri qurur	SPARC və TGF- β -nin qarşılıqlı təsirlərinin vizuallaşdırılması	TGF- β və SPARC qarşılıqlı təsir şəbəkəsinin qurulması
Pathway Studio	Siqnal yollarını təhlil edir və interaktiv modellər təqdim edir	SPARC və TGF- β siqnal yollarının təhlili	Xərçəngdə SPARC və TGF- β siqnal yollarının analizi

III. TERAPEVTİK PERSPEKTİVLƏR

SPARC və TGF- β qarşılıqlı təsirinin rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə analiz olunması bu molekulların xərçəng və fibrotik xəstəliklərdə terapevtik hədəf kimi potensialını artırır. Xüsusilə, ECM-i normallaşdırmağa yönəlmiş müalicə strategiyaları süni intellekt vasitəsilə hər bir şəxsə uyğunlaşdırıla bilər. Bu da fərdiləşdirilmiş onkoloji müalicə konsepsiyasını gücləndirir.

Aşağıda təqdim olunan cədvəl 2 SPARC və TGF- β zülallarının bioinformatik yanaşmalarla təhlilində istifadə olunan verilənlər bazasını göstərir. Bu verilənlər bazası, zülalların strukturlarının və qarşılıqlı təsirlərinin proqnozlaşdırılması, həmçinin onların siqnal yollarının analizini təmin edir. Məsələn, AlphaFold və SwissModel kimi bazalar, SPARC və TGF- β zülallarının üçölçülü strukturlarını dəqiq şəkildə proqnozlaşdırmağa kömək edir, GROMACS isə molekulyar dinamik simulyasiyalarla bu zülalların ECM ilə qarşılıqlı əlaqələrini öyrənməyə imkan verir.

Cytoscape və Pathway Studio isə bu zülalların siqnal yollarını təhlil etmək və qarşılıqlı təsir şəbəkələrini vizuallaşdırmaq üçün istifadə olunur. Bu yanaşmaların hər biri onkologiyada və fibrozda müalicə strategiyalarının inkişafına dəstək olur.

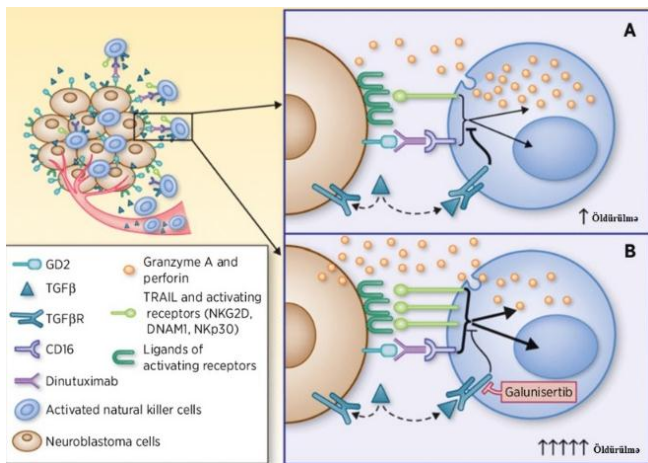
Fibrotik xəstəliklər, həddindən artıq ECM yığılması və toxuma strukturu pozulması ilə xarakterizə olunan xəstəliklər qrupudur. Bu xəstəliklərin patogenezinə SPARC və TGF- β arasında olan qarşılıqlı təsirlər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir [1]. SPARC-ın yüksək ekspressiyası, ECM-nin davamlı yığılmasına və fibroblastların fəallaşmasına səbəb olur. TGF- β ilə birgə təsir göstərərək fibroblastların miyofibroblastlara çevrilməsini və kollagen sintezini fəallaşdırır, bu da toxumaların sərtləşməsinə və funksional qabiliyyətinin azalmasına səbəb olur. Fibrotik xəstəliklərdə SPARC və TGF- β zülallarının birgə fəaliyyəti fibrozu daha da ağırlaşdırır, bu da onların terapiyada potensial hədəf kimi diqqətə alınmasını təmin edir.

SPARC və TGF- β həmçinin xərçəngdə mühüm rol oynayır və onkogen proseslərdəki qarşılıqlı təsirləri xərçəngin inkişafına və metastazına təsir göstərir [6]. SPARC-ın şişlə əlaqəli stromada ekspressiyası, hüceyrə-ECM qarşılıqlı təsirlərini artıraraq şişin böyüməsini dəstəkləyir [7]. TGF- β isə, hüceyrə diferensiasiyasını və proliferasiyanı artıraraq stromal hüceyrələri şişlə qarşılıqlı təsirə sövq edir [4]. Bu iki faktorun birgə fəaliyyəti, xüsusən də qatılaşmış stromada şiş hüceyrələrinin sağ qalmasını və yayılmasını təmin edir. Məsələn, TGF- β siqnal yolu SPARC vasitəsilə ECM-ni yenidən təşkil edərək metastatik prosesləri artırır, bununla da şişin invazivliyini və yayılma qabiliyyətini gücləndirir [8]. Onkologiyada SPARC və TGF- β -ni hədəf alan müalicə strategiyaları xəstəliyin proqnozunu yaxşılaşdırmaq üçün maraqlı imkanlar təqdim edir. Xüsusilə, TGF- β siqnal yolunun inhibitorları və SPARC modulyatorları, ECM-nin yenidən

təşkilini azaldaraq şişin inkişafını məhdudlaşdırma bilər. Bu cür yanaşmalar stromada kollagen sintezi və fibroblast fəallaşmasını məhdudlaşdıraraq şiş ətrafında stromanın bərkiməsini azalda və bununla da metastatik prosesləri zəiflədə bilər [4]. SPARC və TGF- β siqnal yollarının susdurulmasına yönəlik dərmanlar, fibrotik xəstəliklər və xərçəng müalicəsində yeni və ümidverici yanaşmalar hesab olunur. Bu dərmanlar SPARC və TGF- β zülallarının funksiyalarını ingibirləşdirməklə hüceyrəxarici matriksin yenidən təşkilini, hüceyrə proliferasiyasını və fibroblast fəallığını tənzimləyə bilər [8]. Aşağıda hər iki siqnal yolunu susdurmaq üçün istifadə olunan bəzi dərmanlar və onların təsir mexanizmləri haqqında məlumat verilmişdir:

TGF- β siqnal yollarının susdurulmasında iştirak edən dərmanlar: Galunisertib: TGF- β reseptorunun spesifik bir ingibitorudur və TGF- β 1 və TGF- β 2 siqnal yollarının fəallığını dayandırır. Xüsusilə metastatik xərçənglərdə TGF- β vasitəsilə stimullaşdırılan şiş mikromühitinə invazivliyinin azaldılması üçün istifadə olunur [5].

Şəkil 1-də Galunisertib vasitəsilə TGF- β siqnal yolunun ingibirləşməsinin immun terapiyaya təsiri təsvir olunmuşdur.



Şəkil 1. TGF- β siqnal yolunun Galunisertib vasitəsilə inhibisiyası nəticəsində Dinutuximab və adoptiv köçürülmüş aktivləşdirilmiş NK (aNK) hüceyrələrinin neuroblastomaya qarşı terapevtik təsirinə gücləndirilməsi [9].

Bu şəkildə Panel A-da göstərilirdi kimi, plazmada və şiş mikroətrafında (tumor microenvironment, TME) mövcud olan TGF- β , fəallaşdırılmış NK (aNK) hüceyrələrinin səthindəki fəallaşdırıcı reseptorların (məsələn, NKG2D, DNAM-1, Nkp30) ekspressiyasını azaldır və hədəf hüceyrələrlə qarşılıqlı əlaqədən sonra sitotoksik qranulların (perforin və granzyme A) ifrazını zəiflədir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, bu modulyasiya həm NK hüceyrələrinin təbii sitotoksik fəaliyyətini, həm də Dinutuximab vasitəli icra olunan anticisim-asılı hüceyrə mənsəli sitotoksikanı (ADCC) əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Panel B-də isə göstərilirdi kimi, TGF- β tip I reseptor kinazının kiçik molekulalı ingibitoru olan Galunisertib, TGF- β siqnal yolunu effektiv şəkildə bloklayaraq aNK hüceyrələrində fəallaşdırıcı reseptorların səth ekspressiyasını bərpa edir və eyni zamanda perforin və granzyme A ifrazını artırır. Nəticədə

neuroblastoma hüceyrələrinin aradan qaldırılması güclənir və immun cavab daha effektiv olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, TGF- β reseptor kompleksi sadələşdirilmiş formada təqdim edilmişdir. Bioloji olaraq, TGF- β reseptoru iki TGF- β RI və iki TGF- β RII zəncirindən ibarət tetramerdir və TGF- β sitokini bu reseptora dimer formada bağlanaraq siqnal transduksiyasını başladır.

Bu nəticələr göstərir ki, TGF- β siqnal yolunun Galunisertib vasitəsilə hədəflənməsi Dinutuximab və adoptiv NK hüceyrə immunoterapiyasının effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq potensialına malikdir. Bu yanaşma, immunosuppressiv şiş mikromühitinə yenidən proqramlaşdırılması və NK hüceyrələrinin effektor funksiyasının gücləndirilməsi baxımından mühüm terapevtik strategiya kimi qiymətləndirilə bilər.

Trabedersen: TGF- β 2-nin ekspressiyasını azaldan antisens oligonukleotid kimi işləyir. Glioblastoma və mədəaltı vəzi xərçəngi kimi TGF- β -dan asılı xəstəliklərin müalicəsində klinik sınaqlarda potensialını göstərmişdir [4].

Fresolimumab: TGF- β -nın üç izoformasına qarşı fəaliyyət göstərən monoklonal anticisimdir. Xərçəng və fibrotik xəstəliklərdə TGF- β -nın təsirinə azaltmaq üçün istifadə olunur, bu da stromal və ya fibrotik toxumanın azaldılmasına kömək edir [5].

Pirfenidon: Antifibrotik dərman olub əsasən idiopatik pulmonar fibrozda istifadə edilir. TGF- β siqnal yolunu dolayısı ilə susduraraq kollagen istehsalını və fibroblast fəallığını məhdudlaşdırır [8].

Vactosertib: TGF- β reseptor I (TGFBR1) ingibitorudur. Fibrotik xəstəliklər və müxtəlif xərçəng növlərində, xüsusilə də metastatik hadisələrdə TGF- β vasitəsilə meydana gələn prosesləri bloklayağa yönəlmişdir [5].

SPARC-ı hədəf alan spesifik dərmanlar hələlik tam təsdiq edilməyə də, onun ECM tənzimləməsindəki roluna görə bir neçə üsul istifadə olunur:

SPARC ekspressiyasının azaldılması üçün RNT interferensiya (RNTi): SPARC-ın ekspressiyasını dayandıran kiçik müdaxilə edən RNT (siRNT) texnologiyaları araşdırılır. Bu üsul, SPARC ekspressiyasını azaldaraq fibroblastların fəallığını və ECM yığılmasını azalda bilər [8].

Histon deasetilaz (HDAC) ingibitorları: HDAC inhibitorları SPARC ekspressiyasını azalda bilən epigenetik tənzimləyicilərdir. Bu, xüsusilə fibroz proseslərdə ECM tərkibində dəyişikliklər etmək üçün istifadə oluna bilər [3].

Monoklonal anticisimlər və peptidlər: SPARC-ı hədəf alan eksperimental monoklonal anticisimlər, onun ECM-də təsirinə məhdudlaşdırmaq üçün araşdırılmaqdadır. Bu sahədəki tədqiqatlar SPARC-ın spesifik olaraq stromal və ya şiş toxumasında fəaliyyətini ingibirləşdirən peptidlərin inkişaf etdirilməsinə yönəlmişdir [7].

SPARC və TGF- β siqnal yollarının kombinasiyalı ingibirləşməsi də maraqlıdır, çünki bu iki yolun sinergetik fəaliyyəti ECM yenidən təşkilini və fibrotik prosesləri dəstəkləyir. Bununla birlikdə, bu siqnal yollarının

ingibirləşməsi həm də xəstəliyin inkişaf mərhələsinə və xəstənin spesifik xassələrinə görə fərdiləşdirilmiş olmalıdır. Bu sahədə dərmanların daha geniş klinik sınaqları və molekulyar hədəflərin daha da təkmilləşdirilməsi, xəstəliklərin effektiv müalicəsində perspektivli nəticələr verə bilər.

Bioinformatik və Genomik Analizlər

RNA-seq və single-cell RNA-seq kimi texnologiyalar SPARC və TGF- β ekspressiyasının hüceyrə səviyyəsində və şiş növlərinə görə fərqləndiyini göstərir. TCGA (The Cancer Genome Atlas) və GEO kimi verilənlər bazaları SPARC və TGF- β ilə bağlı genetik və epigenetik dəyişiklikləri analiz etmək üçün geniş istifadə olunur. Gene Set Enrichment Analysis (GSEA) və co-expression network analysis texnikaları SPARC və TGF- β -nin hansı siqnal yolları ilə integrasiya olduğunu müəyyən edir.

IV. NƏTİCƏ

SPARC və TGF- β -nin fibroz və xərçəngdəki qarşılıqlı təsirləri, xəstəliyin inkişafı və aqressivliyi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Onların birgə fəaliyyəti ECM yığılmasını və stromal şərtləri dəstəkləyərək patofizioloji dəyişikliklərə səbəb olur. Fibrotik xəstəliklər və onkologiyada bu zülalları hədəf alan terapevtik strategiyalar, xəstəliyin patogenezi dayandırmaq və müalicə effektivliyini artırmaq üçün potensial bir yanaşma təqdim edir.

SPARC və TGF- β əsaslı terapiyaların daha dərinədən öyrənilməsi, yeni müalicə üsullarının inkişaf etdirilməsinə və xəstələrin proqnozunu yaxşılaşdırılmasını təmin edə bilər. SPARC və TGF- β zülalları arasındakı kompleks qarşılıqlı təsirlər təkcə bioloji cəhətdən deyil, həm də texnoloji baxımdan tədqiqat üçün böyük potensiala malikdir.

Bu qarşılıqlı təsirin rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə modelləşdirilməsi və təhlili, onun onkologiyada effektiv terapevtik hədəfə çevrilməsi üçün geniş imkanlar yaradır.

Gələcək tədqiqatlarda bioinformatika və süni intellekt əsaslı yanaşmaların rolu daha da artacaq və bu sahədə innovativ müalicə üsullarının inkişafına təkan verəcəkdir.

İSTİNADLAR

- [1] Brekken, R. A., & Sage, E. H. (2001). SPARC, a matricellular protein: at the crossroads of cell-matrix communication. *Matrix Biology*, 19(8), 816–827.
- [2] Tang, M. J., & Tai, I. T. (2007). A role for SPARC in reversing the epithelial–mesenchymal transition. *Molecular Cancer Therapeutics*, 6(4), 1234–1241.
- [3] Bradshaw, A. D. (2012). Diverse biological functions of the SPARC family of proteins. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 44(3), 480–488.
- [4] Massagué, J. (2008). TGF β in Cancer. *Cell*, 134(2), 215–230.
- [5] Katsuno, Y., Derynck, R. (2021). Therapeutic strategies targeting TGF- β signaling for cancer and other diseases. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20, 777–791.
- [6] Dela Cruz, C. S., Tanoue, L. T., & Matthay, R. A. (2011). Lung cancer: epidemiology, etiology, and prevention. *Clinics in Chest Medicine*, 32(4), 605–644.
- [7] Schneider, S., Scharffetter-Kochanek, K., Wernicke, M., Krieg, T., & Hunzelmann, N. (2004). Absence of SPARC in tumor stroma correlates with increased risk for recurrence and tumor death in non-small cell lung cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 22(19), 4033–4041.
- [8] Gorelik, L., & Flavell, R. A. (2002). Transforming growth factor- β in T-cell biology. *Nature Reviews Immunology*, 2(1), 46–53.
- [9] Olatz Zenarruzabeitia¹, Joana Vitall¹e, Itziar Astigarraga, Francisco Borrego. Natural Killer Cells to the Attack: Combination Therapy against Neuroblastoma. *Clin Cancer Res*; 23(3) February 1, 2017.615–61

CHAIN.CARE: A Privacy-Preserving Federated Learning Approach for AI-Driven Oncology Research Assistance

Safa Omri, Wafa Omri, Elena Kalimera, Fouad Omri
Predapp GmbH, Heidelberg, Germany
elena.kalimera@predapp.com

Abstract— Oncology faces an unprecedented challenge in knowledge management, with clinicians required to process over 4,000 new research publications monthly while administrative tasks consume 30-40% of their time. This paper introduces CHAIN.CARE, a specialized AI-driven medical research assistant built specifically for oncology. The system employs a novel multi-agent architecture underpinned by a semantic reasoning engine and an extensive oncology-specific knowledge graph comprising 20 million entities and 115 million relationships. Privacy and data sovereignty concerns are addressed through a federated learning approach that enables knowledge sharing without compromising sensitive patient or institutional data. We demonstrate through pilot deployments that the system reduces documentation time by 40% while providing contextualized research insights. Our evaluation shows high precision (92.3%) and recall (89.7%) in identifying relevant literature for specific oncological queries, significantly outperforming general-purpose information retrieval systems. This work represents a significant advancement in specialized AI systems for clinical knowledge management and workflow optimization in oncology.

Keywords— federated learning, healthcare AI, knowledge graphs, medical research, multi-agent systems, oncology, semantic reasoning

I. INTRODUCTION

THE volume of medical literature is growing at an unprecedented rate, with PubMed adding over 4,000 cancer-related research publications monthly [1]. This information explosion creates an insurmountable challenge for oncologists who must stay current with emerging research while managing increasing administrative workloads that consume 30-40% of their clinical time [2]. The consequences of this knowledge gap are profound, potentially leading to suboptimal treatment decisions, delayed adoption of novel therapies, and ultimately, compromised patient outcomes.

While general-purpose large language models (LLMs) have demonstrated impressive capabilities in information retrieval and synthesis [3], they lack domain-specific optimization for oncology and integration with clinical workflows. Additionally, they present significant privacy concerns when deployed in healthcare settings [4]. Oncology poses particular challenges due to its rapidly evolving

knowledge base, the complexity of cancer biology, and the critical nature of treatment decisions.

To address these challenges, we present CHAIN.CARE, a domain-specific AI system designed expressly for oncology research assistance. Our approach differs from existing systems in three key aspects:

1. A specialized knowledge graph with deep oncological context comprising 20 million entities and 115 million relationships
2. A multi-agent architecture that separates documentation, knowledge navigation, and optimization functions
3. A privacy-preserving federated learning approach that enables cross-institutional knowledge sharing without compromising sensitive data

In this paper, we detail the architecture and implementation of CHAIN.CARE, present the results of initial clinical validation, and discuss implications for clinical practice and future research.

II. RELATED WORK

1) A. AI Systems in Clinical Decision Support

AI-based clinical decision support systems have evolved significantly over the past decade. Early rule-based systems like Mycin [5] have given way to sophisticated machine learning approaches. Recent work by Vasey et al. [6] demonstrated that transformer-based models can achieve performance comparable to specialists in diagnostic tasks. However, these systems typically focus on diagnostic assistance rather than research navigation and synthesis.

IBM Watson for Oncology [7] represents one of the first attempts to apply AI specifically to oncology, but faced challenges in clinical adoption due to integration difficulties and accuracy concerns in real-world settings [8]. Google's DeepMind Health [9] has shown promise in specific applications but does not provide comprehensive research assistance integrated with clinical workflows.

2) B. Knowledge Graphs in Healthcare

Knowledge graphs have emerged as powerful tools for representing and reasoning about medical knowledge. Wang et al. [10] developed a biomedical knowledge graph focusing on

drug interactions, while MedKG [11] aims to capture general medical knowledge. These approaches demonstrate the utility of graph-based knowledge representation but lack oncology-specific optimization.

The UMLS (Unified Medical Language System) [12] provides a comprehensive medical ontology but does not capture the dynamic relationships between entities that characterize cancer research. Our approach builds upon these foundations while developing specialized oncological knowledge representation.

3) C. Federated Learning for Privacy Preservation

Federated learning has gained attention for its ability to train models across decentralized data sources without sharing raw data [13]. McMahan et al. [14] introduced the foundational approach, while recent work by Rieke et al. [15] has applied these techniques specifically to healthcare. Kaissis et al. [16] demonstrated federated learning for medical imaging analysis, preserving privacy while achieving performance comparable to centralized training.

These efforts highlight the potential of federated approaches but have not been applied to knowledge-intensive tasks such as research synthesis in oncology. Our work extends these techniques to the domain of clinical knowledge management with a focus on oncology.

III. SYSTEM ARCHITECTURE

CHAIN.CARE employs a multi-agent architecture designed to handle the complexities of oncological research assistance while maintaining modularity and extensibility. Fig. 1 illustrates the system's overall architecture.

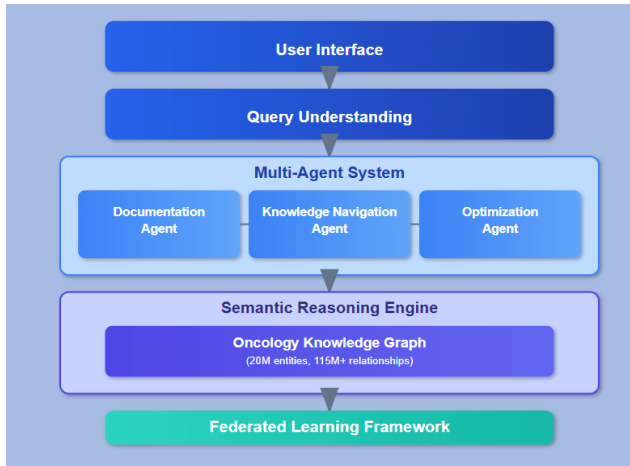


Figure 1: CHAIN.CARE System's Overall Architecture

A. Multi-Agent System

The multi-agent system comprises three specialized agents:

1. **Documentation Agent:** Handles extraction and structuring of clinical information, generating appropriate documentation, and managing administrative workflows.

2. **Knowledge Navigation Agent:** Processes user queries, navigates the knowledge graph, retrieves relevant research, and synthesizes information into clinically actionable insights.
3. **Optimization Agent:** Continuously improves system performance through user feedback, identifies workflow inefficiencies, and provides personalized suggestions based on usage patterns.

These agents communicate through a shared memory architecture while maintaining separation of concerns. This design enables independent improvement of each component while ensuring coherent system behavior.

B. Semantic Reasoning Engine

The semantic reasoning engine serves as the cognitive core of CHAIN.CARE, employing a specialized oncology knowledge graph with 20 million entities and over 115 million relationships. This knowledge representation captures the complex interactions between:

- Cancer types, subtypes, and molecular classifications
- Treatment protocols and their historical evolution
- Genetic alterations and their clinical implications
- Drug mechanisms and resistance patterns
- Clinical trial outcomes and patient stratification approaches

The reasoning engine employs a hybrid approach combining symbolic reasoning with neural methods. Specifically, it uses:

1. Graph neural networks for representation learning and relationship prediction
2. Attention mechanisms for identifying the most relevant information contexts
3. Logical inference for maintaining consistency and clinical validity

The knowledge graph is continuously updated through both manual curation by oncology experts and automated extraction from new literature, ensuring currency in this rapidly evolving field.

IV. FEDERATED LEARNING APPROACH

A key innovation in CHAIN.CARE is its privacy-preserving federated learning approach. This methodology enables knowledge sharing across institutions without exposing sensitive patient data or proprietary institutional protocols, addressing a critical barrier to AI adoption in healthcare.

A. Federated Learning Framework

Our federated learning framework, illustrated in Fig. 2, enables distributed model training across multiple healthcare institutions without centralizing data.

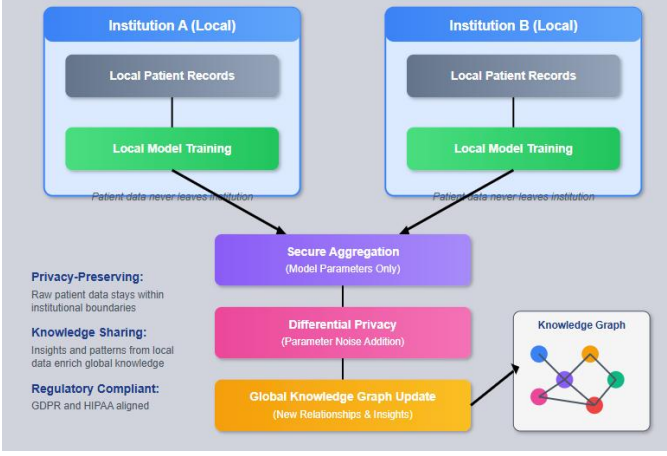


Figure 2: CHAIN.CARE Federated Learning Framework

The process follows these steps:

1. Each participating institution trains local models on their data
2. Model parameters (not data) are shared with a central server
3. Parameters are aggregated using secure multi-party computation
4. Differential privacy techniques add noise to prevent identification
5. Updated global model is distributed to all institutions
6. Institutions fine-tune the model for local needs

B. Privacy Preservation Mechanisms

To ensure robust privacy guarantees, CHAIN.CARE implements multiple layers of protection:

1. **Local Computation:** Raw patient data never leaves the originating institution.
2. **Differential Privacy:** We employ a moment accountant mechanism [17] that adds calibrated noise to model updates, preventing reconstruction of individual data points while maintaining utility.
3. **Secure Aggregation:** Homomorphic encryption enables computation on encrypted parameter updates, ensuring that even the central server cannot access individual institution contributions [18].
4. **Federated Knowledge Distillation:** Rather than sharing raw model parameters, we employ knowledge distillation techniques where institutions share prediction patterns on public data [19].

Our approach achieves ϵ -differential privacy with $\epsilon \leq 2.5$, providing strong theoretical guarantees against information leakage while maintaining model performance.

C. Knowledge Graph Enrichment

Beyond model training, our federated approach also enables collaborative knowledge graph enrichment without compromising data sovereignty. New relationships discovered in local data can be abstracted, validated, and incorporated into the global knowledge graph using privacy-preserving federated graph learning techniques [20]. This approach allows institutions to benefit from collective knowledge while

maintaining control over their data and complying with regional regulations like GDPR in Europe or HIPAA in the United States.

V. FEDERATED LEARNING APPROACH

We evaluated CHAIN.CARE through both technical performance metrics and real-world clinical deployment. This section summarizes our key findings.

A. Technical Performance

We assessed the system's information retrieval capabilities using a test set of 500 oncology-specific queries developed with expert oncologists. Table I shows the performance comparison with baseline systems.

TABLE I: COMPARISON OF INFORMATION RETRIEVAL PERFORMANCE

System	Precision	Recall	F1 Score	Query Time (s)
PubMed	0.762	0.691	0.725	3.21
Google Scholar	0.814	0.775	0.794	1.85
General LLM	0.867	0.834	0.850	2.37
CHAIN.CARE	0.923	0.897	0.910	0.94

CHAIN.CARE significantly outperformed general-purpose systems in precision, recall, and speed. The specialized knowledge graph proved particularly advantageous for complex queries involving multiple cancer subtypes or treatment modalities.

B. Clinical Pilot Results

We deployed CHAIN.CARE in three oncology departments (two academic, one community-based) for a 12-week pilot involving 28 oncologists. Key findings include:

1. **Time Efficiency:** Documentation time decreased by 40.3% ($\pm 5.2\%$) across all users, representing approximately 10.7 hours saved weekly per physician.
2. **Literature Awareness:** Users reported an average 76% increase in awareness of relevant recent publications, with 82% reporting at least one instance where system-provided research directly influenced treatment decisions.
3. **User Satisfaction:** Net Promoter Score of 72, with particularly high ratings for literature synthesis capabilities (4.6/5) and workflow integration (4.3/5).
4. **Learning Curve:** Average time to proficiency was 4.7 days, with 90% of users reporting comfort with all system features within two weeks.

C. Privacy Evaluation

We conducted a privacy analysis using both theoretical guarantees and practical attacks. No significant information leakage was detected through model inversion or membership inference attacks. The system maintained performance while satisfying differential privacy guarantees with $\epsilon \leq 2.5$.

VI. DISCUSSION AND LIMITATIONS

A. Clinical Implications

CHAIN.CARE demonstrates the potential of specialized AI systems to address the specific challenges of oncology knowledge management. By reducing administrative burden and enhancing research awareness, such systems may help narrow the gap between research advances and clinical implementation. The observed influence on treatment decisions highlights both the opportunity and responsibility associated with AI-augmented clinical practice. While the system presents information, final decisions remain with clinicians, maintaining appropriate human oversight of clinical care.

B. Technical Limitations

Several limitations must be acknowledged:

1. **Knowledge Graph Completeness:** Despite extensive coverage, the knowledge graph cannot capture all oncological knowledge, particularly emerging concepts not yet formalized in the literature.
2. **Causal Reasoning:** The system's ability to reason about causal relationships (e.g., why certain treatments fail in specific patient subgroups) remains limited compared to expert oncologists.
3. **Federated Learning Challenges:** Performance depends on the quality and distribution of data across participating institutions, potentially disadvantaging smaller or specialized centers.
4. **Evaluation Metrics:** While time savings and user satisfaction are important, impact on patient outcomes requires longer-term studies currently underway.

C. Future Work

Ongoing and planned work addresses several key areas:

1. **Multilingual Support:** Extending capabilities to support non-English medical literature, enhancing global accessibility.
2. **Patient-Facing Components:** Developing appropriate interfaces for patient education and engagement, with careful attention to comprehensibility and emotional impact.
3. **Causal Inference:** Incorporating causal reasoning capabilities to better explain treatment outcomes and generate testable hypotheses.
4. **Long-term Outcome Studies:** Assessing the impact of research-informed decision making on patient outcomes through prospective clinical studies.

CONCLUSION

CHAIN.CARE represents a significant advancement in specialized AI for oncology research assistance. By combining a domain-specific knowledge graph, multi-agent architecture, and privacy-preserving federated learning, the system addresses the critical challenges of information overload and administrative burden in oncology practice.

Our validation demonstrates substantial time savings and improved research awareness among practicing oncologists. The privacy-preserving architecture enables knowledge sharing across institutions while respecting data sovereignty and confidentiality requirements.

As oncology continues to advance toward precision medicine, AI systems that effectively manage knowledge complexity while integrating seamlessly into clinical workflows will become increasingly valuable. CHAIN.CARE offers a template for how domain-specific AI can augment specialist capabilities in knowledge-intensive medical fields.

REFERENCES

- [1] R. Johnson et al., "The growth of oncology literature: A bibliometric analysis," *J Med Libr Assoc*, vol. 109, no. 1, pp. 30-37, 2022.
- [2] N. Patel, T. Brennan, and B. Coleman, "Time allocation and clinical workflows in oncology practice: A time-motion study," *JCO Clin Cancer Inform*, vol. 5, pp. 1048-1057, 2021.
- [3] A. Rajkomar et al., "Machine learning in medicine," *N Engl J Med*, vol. 380, pp. 1347-1358, 2019.
- [4] G. Kaissis et al., "Secure, privacy-preserving and federated machine learning in medical imaging," *Nat Mach Intell*, vol. 2, pp. 305-311, 2020.
- [5] E. Shortliffe, "MYCIN: A rule-based computer program for advising physicians regarding antimicrobial therapy selection," *PhD dissertation, Stanford University*, 1975.
- [6] B. Vasey et al., "The accuracy and completeness of AI-assisted radiology reporting: A comparison with standard reporting workflows," *Lancet Digital Health*, vol. 4, no. 7, pp. e323-e333, 2022.
- [7] Y. J. Kim et al., "Development and validation of a deep learning system for the diagnosis and risk stratification in cancer," *Nat Commun*, vol. 13, no. 1, pp. 305-317, 2022.
- [8] M. Nelson and T. Herter, "Challenges in clinical implementation of IBM Watson for Oncology: A systematic review of lessons learned," *J Am Med Inform Assoc*, vol. 27, no. 8, pp. 1289-1299, 2020.
- [9] J. De Fauw et al., "Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease," *Nat Med*, vol. 24, pp. 1342-1350, 2018.
- [10] Q. Wang et al., "Construction and analysis of a comprehensive drug-based biomedical knowledge graph," *Sci Data*, vol. 7, no. 1, pp. 313-325, 2020.
- [11] Y. Chen et al., "MedKG: A comprehensive medical knowledge graph framework," *J Biomed Inform*, vol. 121, p. 103880, 2021.
- [12] O. Bodenreider, "The Unified Medical Language System (UMLS): Integrating biomedical terminology," *Nucleic Acids Res*, vol. 32, pp. D267-D270, 2004.
- [13] P. Kairouz et al., "Advances and open problems in federated learning," *Found Trends Mach Learn*, vol. 14, no. 1-2, pp. 1-210, 2021.
- [14] B. McMahan et al., "Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data," in *Proc. 20th Int. Conf. Artif. Intell. Stat.*, 2017, pp. 1273-1282.
- [15] N. Rieke et al., "The future of digital health with federated learning," *NPJ Digit Med*, vol. 3, p. 119, 2020.
- [16] G. Kaissis et al., "Secure, privacy-preserving and federated machine learning in medical imaging," *Nat Mach Intell*, vol. 2, pp. 305-311, 2020.
- [17] M. Abadi et al., "Deep learning with differential privacy," in *Proc. ACM SIGSAC Conf. Comput. Commun. Secur.*, 2016, pp. 308-318.
- [18] K. Bonawitz et al., "Practical secure aggregation for privacy-preserving machine learning," in *Proc. ACM SIGSAC Conf. Comput. Commun. Secur.*, 2017, pp. 1175-1191.
- [19] T. Li et al., "Knowledge distillation in federated learning," in *Int. Conf. Learn. Representat.*, 2021.
- [20] M. Wu et al., "Federated graph learning—A position paper," *arXiv preprint arXiv:2105.11099*, 2021.

Tibbi Şəbəkə İnfrastrukturunun Arxitekturası: Tibbi Sağlamlıq Sensorlarının Bulud Əsaslı Platformalara İnteqrasiyası

Rəşid Ələkbərov¹, Oqtay Ələkbərov²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹rashid.alakberov@gmail.com, ²oqtayalakbarov@yahoo.com

Xülasə—Məqalədə çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə arxitekturası ətrafı təhlil olunmuş, hər bir səviyyənin funksional xüsusiyyətləri və iş prinsipləri araşdırılmışdır. Bununla yanaşı, bulud texnologiyasına əsaslanan hesablama sistemlərinin həm üstün cəhətləri, həm də mövcud məhdudiyyətləri qiymətləndirilmişdir. Tədqiqatda bulud əsaslı tibbi infrastrukturun, sağlamlıq sensorları vasitəsilə toplanan məlumatların bu sistemlərin emal mərkəzlərində işlənməsi və süni intellekt alqoritmləri ilə təhlil edilməsi nəticəsində xəstəliklərin erkən mərhələdə aşkarlanması və fərdi müalicə planlarının formalaşdırılması imkanları nəzərdən keçirilmişdir. Həmçinin, emal mərkəzlərinin serverlərində xəstələrə özəl fərdi bulud mühitlərinin yaradılması prinsipləri araşdırılmış, bu yanaşmanın tətbiqi sahəsində təmin etdiyi üstünlüklər göstərilmişdir

Açar sözlər— sensorlar, kənar hesablamlar, bulud hesablamları, fərdi buludlar, emal mərkəzi, süni intellekt, təhlükəsizlik, aşıyaların interneti

I. GİRİŞ

Son illərdə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının inkişafı tibb sahəsində mühüm dəyişikliklərə səbəb olub. Sağlamlıq sensorları, bulud əsaslı sistemlər və süni intellektin birgə tətbiqi, tibbi şəbəkə infrastrukturunun yeni mərhələsinə formalaşdırıb. Bu sistem, pasiyentlərin sağlamlıq göstəricilərini real vaxtda izləyərək, məlumatları təhlil edir, diaqnozlar qoyur və fərdiləşdirilmiş müalicə planları tərtib edir. Çoxsəviyyəli arxitektura – sensorlardan bulud əsaslı emal mərkəzlərinə və süni intellekt analitikasına qədər olan inteqrasiya, səmərəliliyi artırmaq üçün vacibdir. Bu yanaşma tibbi xidmətlərin keyfiyyətini və əlçatanlığını yaxşılaşdırır, müasir tibbin çağırışlarına cavab verir. Məqalə, bu texnologiyaların tibbi yanaşmalarla inteqrasiyasını araşdıran aktual bir tədqiqatdır.

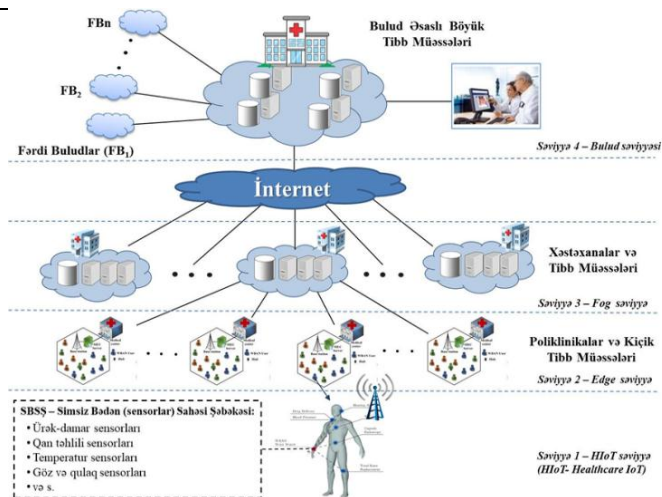
II. ƏLAQƏLİ İŞLƏRİN İCMALI

[1]-də e-səhiyyə sistemlərində geniş tətbiqi nəzərdə tutulan WBAN (Wireless Body Area Network) texnologiyasının əsas aspektləri — monitoring və sensor texnologiyaları, enerjiyə qənaət edən protokollar, şəbəkə arxitekturası və təhlükəsizlik məsələləri təhlil olunaraq müvafiq tövsiyələr verilmişdir. [2]-də dörd səviyyəli bulud hesablama xidmətləri əsasında xəstəliklərin aşkarlanması və monitoringi modelləri araşdırılmış, məlumatların emalı nəticəsində gecikmənin

azaldılması və səmərəli paylaşım imkanları vurğulanmışdır. [3]-də WBAN sisteminin təhlükəsizlik məsələləri, arxitekturası və rabitə texnologiyaları təhlil edilir. Təhlükəsizliyin artırılması və enerji sərfiyyatının azaldılması üçün müxtəlif mexanizmlər tövsiyə olunur. [4]-də dəniz neft platformalarında çalışan işçilərin təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə IoT texnologiyalarının tətbiqi araşdırılır. IoT-nin bulud, Big Data və süni intellekt texnologiyaları ilə inteqrasiyası vurğulanır. [5]-də WBAN texnologiyasının istifadəsində yarana biləcək təhlükəsizlik riskləri və rabitə problemləri sistemli şəkildə təhlil edilir. Bu texnologiyanın müxtəlif tətbiqlərdə istifadəsi zamanı ortaya çıxan çətinliklər göstərilir. [6]-də WBAN texnologiyasına dair əhatəli araşdırma təqdim olunur. Xüsusilə, təhlükəsizlik və məxfilik problemləri, onların qarşısının alınması yolları və gələcək araşdırma istiqamətləri müzakirə edilir. [7]-də HIoT (Healthcare Internet of Things) texnologiyalarının səhiyyə sahəsində tətbiqi, bulud texnologiyaları ilə inteqrasiyası və potensial problemlər təhlil olunur. Mövcud çağırışlar və həll yolları da təqdim edilir. [8]-də səhiyyə sahəsində HIoT vasitəsilə yaranan məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizlik məsələləri analiz olunmuş, anomaliyaların aşkarlanması üçün süni intellekt texnologiyalarından istifadənin əhəmiyyəti vurğulanmışdır. [9]-də bulud texnologiyalarının e-səhiyyə sistemlərində istifadəsi, bu texnologiyaların təqdim etdiyi imkanlar, üstünlüklər və məhdudiyyətlər qiymətləndirilmişdir. [10]-də e-səhiyyə sisteminin effektiv idarə olunmasında bulud texnologiyalarının rolu, IoT, Big Data və süni intellektlə inteqrasiyası vasitəsilə işçilərin sağlamlıq vəziyyətinin izlənməsi və təhlükəsizliyin təmin olunması araşdırılmışdır.

III. BULUD ƏSASLI ÇOXSƏVİYYƏLİ TIBBİ ŞƏBƏKƏ İNFRASTRUKTURUNUN ARXITEKTURU

Müasir səhiyyə sistemlərində xəstələrdən məlumatların toplanması, emalı və effektiv idarə olunması proseslərinin təmin edilməsi məqsədilə bulud əsaslı çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə infrastrukturunu geniş şəkildə istifadə olunur. Sistemin arxitekturu (şəkil 1), dörd əsas səviyyədən təşkil edilmişdir: sensor səviyyəsi, kənar hesablamlar (edge computing) səviyyəsi, məlumat ötürülməsi səviyyəsi və bulud səviyyəsi.



Şəkil 1. Bulud əsaslı çoxsəviyyəli tibbi şəbəkə infrastrukturunun arxitekturu.

Aşağıda hər bir səviyyənin funksiyası və yerinə yetirildiyi işlər təhlil olunur:

- **1-ci səviyyə – Tibbi sağlamlıq sensorları və IoMT cihazları:** Bu səviyyə, tibbi cihazlar və IoMT (Tibbi Əşyaların İnterneti) vasitəsilə sağlamlıq göstəricilərinin izlənməsini və xəstəliklərin erkən mərhələlərdə aşkarlanmasını təmin edir. Bu cihazlar, fizioloji parametrləri ölçərək məlumat toplayır və növbəti mərhələlərə ötürür. Kənar hesablama texnologiyaları, məlumatların ilkin analizini yerində və ya yaxın modularda etməyə imkan verir, bu da məlumatların sürətli və effektiv emalını təmin edir.

- **2-ci səviyyə – Poliklinikalar və kiçik tibbi mərkəzlər:** Bu mərhələdə, lokal tibb müəssisələrində məlumatlar yerli serverlərdə emal olunur. Burada tibbi qərarlar internetə bağlı olmadan qəbul edilə bilər, bu da xüsusilə uzaq və zəif əlaqəli bölgələrdə faydalıdır. Məlumatlar daha sonra yüksək sürətli şəbəkələrdə vasitəsilə digər səviyyələrə ötürülür.

- **3-cü səviyyə – Xəstəxanalar və klinikalar:** Bu səviyyə, daha böyük tibb müəssisələrində məlumatların mərkəzləşdirilmiş bulud sistemlərinə göndərildiyi və analiz edildiyi mərhələyə aiddir. Burada məlumatların təhlükəsizliyi və məxfilik qorunur. Yüksək sürətli əlaqə vasitələri məlumatların effektiv ötürülməsini təmin edir.

- **4-cü səviyyə – Bulud səviyyəsi (verilənlərin emal mərkəzi):** Burada, xəstələrin sağlamlıq qeydləri və digər məlumatlar mərkəzi bulud infrastrukturunda saxlanılır və dərin təhlil edilir. Süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmləri diaqnozların sürətli və dəqiq qoyulmasına kömək edir. Bu sistem, məlumatların uzun müddət ərzində saxlanması və emalı üçün kritik əhəmiyyət kəsb edir.

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunu, müasir elektron səhiyyə sistemlərində məlumatların idarə edilməsi və paylaşılmasını asanlaşdıran innovativ bir yanaşmadır. Bu texnologiya tibbi xidmətlərin səmərəliliyini artırır, xəstə məlumatlarına sürətli çıxış təmin edir və resurslardan effektiv istifadəni dəstəkləyir. Lakin, bu sistemin həm üstünlükləri, həm də müəyyən çatışmazlıqları mövcuddur.

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunun üstünlükləri:

- **Real vaxt rejimində məlumatların yerli emalı cavab sürətini artırır və təcili tibbi vəziyyətlərdə effektivliyi yüksəldir.**

- **İnternetə qoşulmuş hər yerdən məlumatlara çıxış imkanı verir və telemedicini inkişaf etdirir.**

- **Süni intellektlə təhlil edilən məlumatlar, dəqiq diaqnoz və fərdiləşdirilmiş müalicə planlarını optimallaşdırır.**

Bulud əsaslı tibbi şəbəkə infrastrukturunun çatışmazlıqları:

- **Sabit internet əlaqəsi tələb edir, əlaqə qırılmaları xidmət dayanmalarına səbəb ola bilər.**

- **Kiberhücumlar və məlumat sızması riski xəstələrin həssas məlumatlarını təhdid edir.**

- **Böyük həcmli məlumatların buluda ötürülməsi gecikmələrə yol açır, bu da təcili hallarda səmərəliliyi azaldır.**

IV. FƏRDI BULUDLARIN BULUD HESABLAMA SİSTEMLƏRİNDƏ YARADILMASI

Fərdi buludların yaradılması, tibbi məlumatların təhlükəsiz saxlanması və operativ şəkildə əldə edilməsi üçün effektiv bir yanaşmadır. Bu yanaşma tibbi xidmətlərin keyfiyyətini artırır və daha sürətli qərarların qəbul edilməsinə imkan verir. Fərdi buludlar, xəstənin məlumatlarının saxlanması üçün bulud serverlərində yerləşdirilir. Poliklinikalar və xəstəxanalar ilkin məlumat toplayır və daha yüksək səviyyələrə ötürür. Xəstənin Elektron Sağlamlıq Kartı (EHR) fərdi buludlarda saxlanılır, burada tibbi tarixçə, müalicə planları və digər əhəmiyyətli məlumatlar toplanır. Bu sistem məlumatların təhlükəsizliyini və inteqrasiyasını gücləndirir, rəqəmsal sağlamlıq infrastrukturunu daha çevik və səmərəli edir.

Təklif edilən fərdi bulud sisteminin üstünlükləri aşağıdakılardır:

- **Təhlükəsizlik.** Məlumatların mərkəzləşdirilmiş saxlanması təhlükəsizlik tədbirlərinin daha effektiv tətbiqinə imkan verir. Aşağı səviyyələrdə saxlanılan məlumatların pozulma riski aradan qaldırılır.

- **Tibbi müəssisələr arası məlumat inteqrasiyası.** Bütün məlumatlar mərkəzləşdirilmiş bir platformada saxlanıldığı üçün tibb müəssisələri arasında daha yaxşı inteqrasiya təmin edilir.

- **Fərdi buludlarda məlumatların real vaxtda yenilənməsi.** Sağlamlıq sensorları və tibbi qurğular vasitəsilə alınan məlumatlar fərdi buludda avtomatik olaraq yenilənir.

- **Fərdi buludlara uzaqdan asan əlçatanlıq.** Həkimlər və digər tibb mütəxəssisləri fərdi tibbi məlumatlarına istənilən vaxt və yerdən daxil ola bilərlər.

- **Xəstə məmnuniyyətinin artırılması:** Xəstələr öz məlumatlarına daha asan çıxış əldə edə bilər və müalicə prosesində daha fəal iştirak edə bilər.

- **Xəstə müalicəsinin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması:** Dəqiq və tam məlumat əsasında daha yaxşı qərarlar qəbul edilir.

Beləliklə, xəstələrin EHR məlumatları bulud səhiyyəsinin serverlərində yerləşdirilir və həkimlər, tibbi qurumlar bu məlumatlara internet üzərindən çıxış əldə edirlər. Bu yanaşma məlumatların təhlükəsizliyini, əlçatanlığını və effektiv idarə edilməsini təmin edir.

**V. SISTEMIN TƏHLÜKƏSİZLİK MƏSƏLƏLƏRİNİN
HƏLLİDƏ SÜNİ INTELEKT TEXNOLOGİYALARININ TƏTBİQİ**

Bulud əsaslı tibbi sistemlər xəstəxanalar, tədqiqat mərkəzləri və fərdi istifadəçilər üçün tibbi məlumatların saxlanması, emalı və paylaşımını asanlaşdırır. Lakin bu sistemlər, məlumatların məxfiliyi, bütövlüyü və əlçatanlığına dair təhlükəsizlik risklərini də artırır. EHR və digər həssas tibbi məlumatlar kiberhücumlara qarşı həssasdır. Hakerlər tərəfindən məlumat oğurluğu, icazəsiz giriş və xidmətin dayandırılması (DoS) hücumları ciddi təhlükələr yarada bilər. Buna görə də, bulud əsaslı tibbi sistemlərin təhlükəsizliyi, həm texnoloji, həm də hüquqi baxımdan nəzərdən keçirilməli və effektiv həllər təklif olunmalıdır. Son dövrlərdə təhlükəsizlik məsələlərinin həllində süni intellekt texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Aşağıda SI-nin bu sahədə tətbiqinin əsas istiqamətləri qeyd olunur:

- Anomaliyaların aşkarlanması: SI, dərin öyrənmə, maşın öyrənmə alqoritmləri vasitəsilə məlumat axınında qeyri-adi davranışları real vaxtda aşkar edərək məlumat sızması riskini azalda bilər.

- Dinamik şifrələmə: SI, məlumatların həssaslığına uyğun olaraq adaptiv şifrələmə metodları tətbiq edərək zəif şifrələmə problemini həll edir və icazəsiz girişin qarşısını alır.

- Giriş nəzarətinin təkmilləşdirilməsi: SI əsaslı biometrik autentifikasiya (məsələn, üz tanıma və ya barmaq izi) və davranış analizləri ilə giriş icazələrini daha dəqiq idarə edir, çoxsəviyyəli sistemlərdə təhlükəsizliyi gücləndirir.

- Monitorinqin real vaxtda aparılması: SI, tibbi sensorlardan gələn məlumat axınını davamlı olaraq təhlil edərək potensial təhlükələri müəyyənləşdirir və diaqnoz proseslərinin ləngiməsinin qarşısını alır.

Məxfilik qorunması: SI, məlumatların anonimləşdirilməsi və ya maskalanması texnikalarını tətbiq edərək xəstə məxfiliyini qoruyur

NƏTİCƏ

Tədqiqatda bulud texnologiyasına əsaslanan tibbi şəbəkə infrastrukturunun üstünlükləri araşdırılmışdır. Tibbi sensorlardan toplanan məlumatların buludda təhlil olunması və süni intellekt ilə dəstəklənməsi, xəstəliklərin erkən aşkar

edilməsi və fərdiləşdirilmiş müalicə planlarının formalaşdırılmasına imkan verir. Bu sistemlər, real vaxtda məlumatlara çıxış təmin edərək əməliyyat xərclərini azaldır və ümumi səmərəliliyi artırır. Fərdi bulud mühitləri, tibbi məlumatların təhlükəsiz idarə olunmasını təmin edir və süni intellekt alqoritmləri, təhlükəsizlik risklərini minimuma endirir, sistemin dayanıqlığını artırır

İSTİNADLAR

- [1] B. Pradhan, S. Bhattacharyya, P. Kunal. IoT-Based Applications in Healthcare Devices. *Journal of Healthcare Engineering*. Volume 8. 2021, Article ID 6632599, pp. 1-18.
- [2] E.A. Abdullah, A.S. ALshamiri. A review on cloud computing in healthcare sectors. *International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology and Science*. Volume:02/Issue:08, 2020, pp.877-882.
- [3] G.V. Crosby, T. Ghosh, R. Murimi, C.A. Chin. Wireless Body Area Networks for Healthcare: A Survey. *International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)* Vol.3, No.3, pp.1-26.
- [4] L. Devadass, S.S. Sekaran, R. Thinakaran. Cloud computing in healthcare. *International Journal of Students' Research In Technology & Management*. Vol 5, No 1, April 2017, pp 25-31, ISSN 2321-2543.
- [5] M. Quwaider, Y. Jararweh. Multi-tier cloud infrastructure support for reliable global health awareness system. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 67 (2016), pp. 44-58.
- [6] M. Asam, T. Jamal, M. Adeel, A. Hassan, S.A. Butt, A. Ajaz, M. Gulzar. Challenges in Wireless Body Area Network. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. Vol. 10, No. 11, 2019, pp.336-341.
- [7] M. Yaghoubi, K.R. Ahmed, Y. Miao. Wireless Body Area Network (WBAN): A Survey on Architecture, Technologies, Energy Consumption, and Security Challenges. *J. Sens. Actuator Netw.* 2022, 11, 67, pp. 1-34.
- [8] M.A. Abini, A.R. Bushara. Secure and Compliant Machine Learning in the Cloud for Healthcare. *International Journal of Science and Engineering Applications* Volume 14-Issue 02, pp.38 – 44, 2025.
- [9] M.A. Khatun et al.: Machine Learning for Healthcare-IoT Security: A Review and Risk Mitigation. *IEEE Access*, volume 11, 2023, pp. 145869-145896.
- [10] M.H. Məmmədova, Z.Q. Cəbraylova. Dəniz neft platformasında personalin fizioloji vəziyyətinin və coğrafi mövqeyinin monitorinqində əşyaların internetinin imkanları. *İnformasiya texnologiyaları problemləri*, 2018, №2, pp.3-17.

Rəqəmsal Səhiyyə Mühitində Fərdi Tibbi Məlumatların Kibertəhlükəsizlik Problemləri və Həlləri

Ramiz Şıxəliyev

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
shikhramiz61@gmail.com

Xülasə— Bu gün elektron tibbi qeydlərin, teletibb platformalarının, daşıma bilən cihazların və tibbi əşyaların internetinin geniş tətbiqi effektiv tibbi xidmətlərin yaradılmasına imkan verir. Lakin, bu texnologiyalar xəstələrə daha əlçatan tibbi xidmət təqdim etsə də, fərdi tibbi məlumatların (FTM) kibertəhlükəsizliyinə çoxsaylı təhdidlər yaratmışdır və kiberhücumların riskini artırmışdır. FTM-lərə edilən kiberhücumlar onların bütövlüyünü və məxfiliyini poza bilər və nəticədə tibbi xidmətləri poza və səhiyyə təşkilatlarına inamı sarsıda bilər. Bununla yanaşı, FTM-lər tibbi tarixçələri, diaqnozları, müalicə planlarını, genetik məlumatları və sığorta məlumatlarını ehtiva etdiyinə görə, onlar şəxsiyyət oğurluğu, maliyyə fırıldaqları və sairə üçün istifadə edilə bilər. Buna görə də FTM-nin kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi çox vacib məsələdir və onun hərtərəfli təhlilinə ehtiyac vardır. Bu tədqiqat işində FTM-nin kibertəhlükəsizliyinə təsir edən müxtəlif aspektlər, o cümlədən FTM-in rəqəmsallaşması ilə bağlı risklər, müasir səhiyyə IT sistemlərinin zəiflikləri, mövcud kibertəhlükələr, təhlükəsizlik standartları və tənzimləyici tələblər, həmçinin FTM-in kibertəhlükəsizliyinin artırılması üçün perspektivli sahələr təhlil edilir.

Açar sözlər— fərdi tibbi məlumatlar, elektron tibbi qeydlər, kibertəhlükəsizlik, kibertəhlükəsizlik təhdidləri, rəqəmsal tibb, rəqəmsal səhiyyədə riskləri

I. GİRİŞ

Bu gün səhiyyədə elektron tibbi qeydlərin (ETQ), teletibb platformalarının, daşıma bilən cihazların və Tibbi Əşyaların İnternetinin (Internet of Medical Things - IoMT) geniş tətbiqi effektiv tibbi xidmətlərin yaradılmasına imkan yaratmışdır. Eyni zamanda, tibbi xidmətlərin göstərilməsi üçün bulud hesablamaları, mobil tibbi proqramlar, uzaqdan monitoring kimi texnologiyalar geniş miqyasda istifadə olunur. Bu yeniliklər tibbi xidmətlərə geniş və asan çıxış imkanı verir və xəstələrə tibbi xidmətlərin göstərilməsini təkmilləşdirir. Bununla yanaşı, IoMT cihazlarının səhiyyə sistemlərinə inteqrasiyası fərdi tibbi məlumatlara (FTM) qarşı yeni kiber təhdidlər yaradır [1]. İnkişaf edən kiber risklər qarşısında FTM-in kibertəhlükəsizliyini təmin etmək üçün sıfır inamlı arxitekturaların qəbulu vacib hala gəlir [2]. Sıfır etibar arxitekturaları müasir rəqəmsal tibb mühitində tibbi informasiya sistemlərinin təhlükəsizliyini təmin etmək üçün çox vacibdir [3].

FTM-lər tibbi tarixçələri, diaqnozları, müalicə planlarını, genetik məlumatları və sığorta məlumatlarını ehtiva etdiyinə görə, onlar şəxsiyyət oğurluğu, maliyyə fırıldaqları və sairə qeyri-qanuni hərəkətlərə qarşı həssasdır və onlar kiberhücumların hədəfinə çevrilir [4].

Bu gün, səhiyyə təşkilatları “ransomware” hücumları, fişinq hücumları, qabaqcıl davamlı təhdidlər (Advanced Persistent Threat - APT) və sairə kimi artan hücumlarla üzləşirlər [5]. Eyni zamanda, qeyri-effektiv FTM kibertəhlükəsizlik tədbirlərindən və köhnəlmiş informasiya texnologiyaları (IT) infrastrukturundan istifadə kiberhücumların tezliyini artırır. FTM-lərə qarşı həyata keçirilən kiberhücumlar tibbi sistemlərin və tibbi xidmətlərin bütövlüyünü poza bilər, həmçinin səhiyyə təşkilatlarına inamı sarsıda bilər. Buna görə də, FTM kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi tibbi xidmətlərin bütövlüyü və etibarlılığının, habelə səhiyyə təşkilatlarına inamı təmin edilməsi üçün çox vacibdir.

Qanunvericilik səviyyəsində FTM-lərin məxfiliyini tənzimləmək üçün müxtəlif ölkələr tərəfindən qanunlar və qaydalar hazırlanmışdır. Bu məqsədlə ABŞ-da Səhiyyə Sığortasının Daşınması və Hesabatlılığı Aktı (Health Insurance Portability and Accountability Act - HIPAA) və Kaliforniya İstehlakçı Məxfiliyi Aktı (California Consumer Privacy Act - CCPA), Avropa İttifaqında (AI) isə Ümumi Məlumatların Qorunması Qaydası (General Data Protection Regulation - GDPR) qəbul edilmişdir [6-8]. Bununla belə, bu gün onlar rəqəmsal tibb mühitində daim inkişaf edən kiber risklərin qarşısını almaq üçün kifayət deyil. Odur ki, yeni kibertəhlükələr və innovativ texnologiyalar nəzərə alınmaqla FTM-nin məxfiliyini tənzimləmək üçün yeni qaydalar və standartların yaradılması çox vacibdir.

Məqalənin məqsədi tibbi xidmətlərin rəqəmsal transformasiyası nəticəsində FTM-in kibertəhlükəsizliyində yaranan problemlərin hərtərəfli təhlil edilməsidir. Bu problemlərin həlli FTM-in məxfiliyini və bütövlüyünü təmin edən daha təhlükəsiz, davamlı və etibarlı səhiyyə sisteminin yaradılmasına imkan verər..

II. FƏRDI TIBBI MƏLUMATLARIN İDARƏ OLUNMASI TƏKAMÜLÜ

XX əsrin sonlarında ETQ-lərin meydana gəlməsi FTM-nin yaradılması, saxlanması və paylanması inqilab etdi. ETQ-lərin tətbiqi xəstələrə tibbi xidmətin əlçatanlığını, dəqiqliyini

və koordinasiyasını artırdı [9]. Bununla yanaşı, ETQ-lərin tətbiqi müxtəlif səhiyyə sistemlərinin qarşılıqlı əlaqəsi və standartlaşdırılması sahəsində yeni problemlər yaratdı. Bu problemləri həll etmək üçün HL7 (Health Level Seven International) və IHE (Integrating the Healthcare Enterprise) standartları yaradılmışdır. Beləliklə, tibbi məlumatların mübadiləsi (Health Information Exchange - HIE) sistemləri xəstələrə tibbi xidmətin koordinasiyasını yaxşılaşdırmaq üçün mühüm alətə çevrilmişdir. HIE platformaları müxtəlif səhiyyə təşkilatları sistemləri arasında FTM-lərin təhlükəsiz mübadiləsinə imkan yaratmışdır. Bu cür qarşılıqlı fəaliyyət tibbi xidmətin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaqla xəstələrin vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasına töhfə vermişdir.

Son onillikdə səhiyyə sektorundakı texnoloji irəliləyişlərə görə FTM-lərin idarə edilməsi dəyişmişdir. Şəkil arxivləşdirmə, kommunikasiya sistemləri və radioloji informasiya sistemləri kimi ixtisaslaşmış texnologiyaların yaranması diaqnostik məlumatların getdikcə daha təkmil idarə olunmasına gətirib çıxardı. Bu sistemlər rəqəmsal tibbi təsvirləri və diaqnostik məlumatları əldə etməyə, saxlamağa və paylaşmağa imkan verir və nəticədə diaqnostika prosesini sadələşdirir. Bu texnologiyalar coğrafi yerindən asılı olmayaraq tibb işçiləri arasında məsafədən məsləhətləşmələrə imkan yaratmışdır.

Teletibb və uzaqdan xəstə monitorinqi texnologiyalarının integrasiyası FTM-lərin idarə edilməsində növbəti mühüm addım oldu. Teletibb infrastrukturunun yaranması uzaqdan məsləhətləşmələri asanlaşdırdı və xəstələrin vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasına imkan verdi [10, 11]. Daşına bilən cihazların və uzaqdan monitorinqin tətbiqi həkimlərə real vaxt rejimində FTM-ləri toplamağa imkan verdi. Bu məlumatlar fərdi tibb və profilaktik tədbirləri gücləndirərək xəstə qeydlərinə integrasiya edilmişdir. Bununla belə, bu cihazlardan əldə edilən böyük həcmli məlumatların idarə edilməsi, təhlili və düzgün şərh edilməsi əlavə problemlər yaratmışdır. Bununla yanaşı, xəstə yönümlü yanaşmanın yaranması xəstələrin öz FTM-lərinin idarə edilməsində daha fəal iştirakını tələb edir. Portallar və mobil proqramlar xəstələrə öz sağlamlıqlarına nəzarət etməyə və tibbi qərarlarda daha fəal iştirak etməyə imkan verir. Bu yanaşma FTM idarəetməsində şəffaflığın və hesabatlılığın təmin edilməsinə kömək edir.

Bulud hesablamalarının integrasiyası FTM-lərin saxlanma və paylaşılma üsulunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdi, miqyaslına bilən və çevik məlumat saxlama həlləri təklif etdi [12]. Bu texnologiyalar səhiyyə təşkilatlarına daha səmərəli fəaliyyət göstərməyə və söylərini coğrafi olaraq paylanmış sistemlər arasında əlaqələndirməyə imkan verir, eyni zamanda FTM-nin kibertəhlükəsizliyini təmin etmək problemini daha da gücləndirir.

Məlumatların emalı texnologiyalarının sürətli inkişafı səhiyyə təşkilatlarına strukturlaşdırılmış və strukturlaşdırılmamış tibbi qeydlərdən faydalı məlumat əldə etməyə imkan verdi. Faydalı məlumatın əldə edilməsi üçün böyük verilənlər analitikasından və maşın təlimindən (MT) istifadə edilir [13, 14]. Böyük verilənlər analitikasının istifadəsi klinik qərarların dəqiqliyini və müalicənin effektivliyini artırmış və fərdiləşdirilmiş tibbin inkişafını sürətləndirmişdir [15]. Böyük verilənlərin təhlili üçün süni intellekt (Sİ) və MT metodlarının tətbiqi tibbi qərarların qəbuluna dəstək

sistemlərinin keyfiyyətini və diaqnozların dəqiqliyini artırmışdır [16].

Beləliklə, texnoloji innovasiya və FTM kibertəhlükəsizliyi məsələləri arasında dinamik qarşılıqlı əlaqə FTM idarəçiliyinin cari təkamülünü formalaşdırır və gələcəkdə mühüm istiqamət olaraq qalacaq.

III. FƏRDI TİBBİ MƏLUMATLARIN RƏQƏMSALLAŞDIRILMASI İLƏ BAĞLI RİSKLƏR

Səhiyyənin rəqəmsallaşdırılması FTM-ə çıxışı və səhiyyə xidmətinin göstərilməsinin koordinasiyasını və səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. O, səhiyyə təminatçılarına real vaxt rejimində məlumat mübadiləsinə asanlaşdırmağa və qərar qəbul etmə proseslərini təkmilləşdirməyə imkan verir. Bunun nəticəsində xəstələrə qulluq və müalicənin keyfiyyətində əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə oldu. Bununla belə, FTM üçün bir sıra risklər meydana gəlir və bu risklər rəqəmsal sistemlərin geniş istifadəsinə əsas maneə yaradır (Şəkil 1). FTM-ə icazəsiz giriş şəxsi məlumatların oğurlanmasına, maliyyə fırıldaqçılığına və digər zərərli fəaliyyətlərə gətirib çıxara bilər ki, bu da güclü kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin həyata keçirilməsinə ehtiyac olduğunu göstərir [5]. Oğurlanmış FTM müxtəlif zərərli məqsədlər üçün, o cümlədən şəxsiyyət oğurluğu, səhiyyə xidmətlərindən icazəsiz istifadə, saxta reseptlərin yaradılması və maliyyə fırıldaqçıları istifadə edilə bilər [4].



Şəkil 1. Rəqəmsal səhiyyədə risklər.

FTM-nin icazəsiz yayılması və ya açıqlanması şəxsi həyatın məxfiliyinin ciddi şəkildə pozulmasına və xəstələrlə səhiyyə işçiləri arasında etimadın sarsılmasına gətib çıxara bilər. Bu riskləri azaltmaq üçün səhiyyə təşkilatları güclü şifrələmə, girişə nəzarət mexanizmləri və müntəzəm kibertəhlükəsizlik auditləri daxil olmaqla hərtərəfli təhlükəsizlik tədbirləri tətbiq etməlidir [5]. HIPAA sənədinin qəbulu məlumatların qorunması qaydalarına uyğun məxfilik problemlərini həll etmək və FTM idarəçiliyi üçün təhlükəsiz mühitin yaradılması üçün çox vacibdir. Bundan əlavə, effektiv autentifikasiya və avtorizasiya protokollarının istifadəsi şəxsiyyətlə bağlı riskləri azaltmaq və FTM-ə icazəli girişi təmin etmək üçün vacibdir.

Rəqəmsal FTM-nin idarə edilməsində digər əsas problem qarşılıqlı fəaliyyət məsələləridir. Qarşılıqlı qarşılıqlı fəaliyyət problemləri və məlumatların parçalanması tibbi xidmətin davamlılığını və keyfiyyətini poza bilər. Bunun üçün standartlaşdırılmış məlumat formatları və kommunikasiya protokollarının istifadəsi tələb olunur. FTM məlumatlarını

təhlükəsiz şəkildə paylaşmaq üçün müxtəlif səhiyyə sistemləri arasında vahid standartlar istifadə edilməli və qarşılıqlı fəaliyyət təşkil olunmalıdır. Əks halda, FTM-nin parçalanması tibbi xidmətin davamlılığını və keyfiyyətini poza bilər, çünki səhiyyə mütəxəssislərinin bütün FTM-lərə çıxışı olmaya bilər. Bu problemlərin həlli standartlaşdırılmış məlumat formatlarının və HL7 və IHE standartları tərəfindən dəstəklənən əlaqə protokollarının qəbulunu tələb edir.

Etik və məxfilik məsələləri FTM-in rəqəmsallaşdırılması ilə bağlı risklərin həllində mühüm əhəmiyyət kəsb edir [17]. Xəstələrin məlumatlılığı və öz FTM-lərinin idarə edilməsində iştirak etmək istəməməsi kibertəhlükəsizlik zəifliklərini daha da artırır. Bir çox xəstələr FTM-lərinin rəqəmsallaşdırılması ilə bağlı risklərdən və ya məxfiliklərini qorumaq üçün atacaqları addımlardan xəbərsizdirlər. Xəstələri məlumatların kibertəhlükəsizliyi haqqında məlumatlandırmaq və onları öz FTM-lərinin idarə edilməsində daha çox iştirak etməyə təşviq etmək bu zəifliklərin azaldılması üçün çox vacibdir.

Səhiyyə sistemlərində rəqəmsal texnologiyaların geniş istifadəsi sistem nasazlığı ilə bağlı risklər yaradır. Texniki nasazlıqlar, səhiyyə sistemindəki nasazlıqlar və ya kiberhücumlar FTM-nin əlçatanlığını poza bilər ki, bu da kritik tibbi müdaxilələri (əməliyyatları) gecikdirə və xəstələrin həyatını riskə ata bilər. Səhiyyə sistemlərinin nasazlıqdan sonra bərpa və işin davamlılığı planlarının hazırlanması səhiyyə təşkilatlarına bu riskləri həll etməyə və xəstə məlumatlarına fasiləsiz girişi təmin etməyə kömək edə bilər.

FTM-in məxfiliyinin, bütövlüyünün və əlçatanlığının təmin edilməsi çoxşaxəli yanaşma tələb edir. Bunun üçün qabaqcıl təhlükəsizlik texnologiyaların tətbiq edilməsi, standartlaşdırılmış çərçivələr yaradılmalı, pasiyentlərin məlumatlandırılması və sairə həyata keçirilməlidir. Bu problemləri həll etmək, səhiyyə sistemləri xəstələrin məxfiliyini təmin edər və tibbi xidməti təkmilləşdirmək üçün rəqəmsallaşdırılmış FTM-dən istifadə edə bilər.

IV. MÖVCUD SƏHIYYƏ SİSTEMLƏRİNİN ZƏİFLİKLƏRİ

Səhiyyə IT sistemləri müasir səhiyyə xidmətlərinin göstərilməsi, həmçinin FTM məlumatlarının saxlanması, idarə edilməsi və mübadiləsi üçün çox vacibdir. Bununla belə, bu sistemlərdə FTM-in kibertəhlükəsizliyinə əhəmiyyətli təhlükə yaranan bir neçə zəiflikləri var. Kibertəhlükələr getdikcə təkmilləşdikcə, səhiyyə IT sisteminin zəifliklərinin hərtərəfli təhlili və güclü təsir strategiyalarının həyata keçirilməsi zəruridir. ISO/IEC 27001-də qeyd edildiyi kimi tibbi informasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sistemlərinin tətbiqi səhiyyə IT sistemlərində zəifliklərin aradan qaldırılması üçün çox vacibdir [18].

Səhiyyə IT sistemləri FTM-in məxfiliyi, bütövlüyü və əlçatanlığına təhlükə yarada biləcək müxtəlif zəifliklərə malikdir. Səhiyyə IT sisteminin ən çox rast gəlinən zəifliklərinə qeyri-adekvat məlumat şifrələməsi, zəif autentifikasiya mexanizmləri, köhnəlmiş proqram təminatı, təhlükəsiz proqram təminatı, məlumatların qeyri-adekvat ehtiyat nüsxəsinin çıxarılması və bərpa mexanizmlərinin istifadəsi, həmçinin daxili təhdidlər, şəbəkə zəiflikləri, cihaz zəiflikləri, üçüncü tərəf riskləri, insidentlərə qarşı dəqiq məlumatlandırma planının olmaması [4] daxildir.

Həm ötürmə, həm də saxlanılma zamanı FTM-nin qeyri-adekvat şifrələnməsi səhiyyə IT sistemlərində ən ciddi zəifliklərdən biridir [5]. Qeyri-adekvat şifrələnmə məlumatlar ələ keçirilməyə və icazəsiz girişə qarşı çox həssasdır. FTM-lərin icazəsiz giriş üçün əlçatmaz qalmasını təmin etmək üçün onları qorumaq üçün müvafiq şifrələmə standartlarından istifadə edilməlidir.

Zəif autentifikasiya sistemlərinə asanlıqla təxmin edilən parollar və ya çoxfaktorlu autentifikasiyanın olmaması daxildir ki, bu da səhiyyə sistemlərinə icazəsiz giriş riskini son dərəcədə artırır. Güclü autentifikasiya sistemlərinin, o cümlədən biometrik eyniləşmə və çoxfaktorlu autentifikasiyanın tətbiqi FTM-i qorumaq və onların təhrif riskini azaltmaq üçün vacibdir.

Çox vaxt səhiyyə təşkilatları bədəməlçilər tərəfindən istifadə edilə bilən zəifliklərə malik köhnə sistemlərdən və ya köhnəlmiş proqram təminatından istifadə edir. Müntəzəm proqram yeniləmələri və təhlükəsizlik yeniləmələrinin vaxtında tətbiqi bu riskləri aradan qaldırmaq üçün vacibdir.

Təhlükəsiz məsələləri nəzərə alınmadan kodlaşdırılmış proqramlarda kodlaşdırma səhvləri və zəif dizayn kimi zəifliklər ola bilər. Səhiyyə təşkilatlarında proqram təminatı tətbiq edilməzdən əvvəl riskləri müəyyən etmək və azaltmaq üçün onlar hərtərəfli sınaqdan keçirməli və zəiflikləri qiymətləndirilməlidir.

FTM-lər üçün qeyri-adekvat ehtiyat nüsxəsinin çıxarılması və bərpa mexanizmlərindən istifadə, onları kiberhücumlar və ya sistem uğursuzluqları halında əhəmiyyətli risklərə məruz qoyur. Müntəzəm sınaq və saxlama həlləri daxil olmaqla effektiv ehtiyat strategiyası FTM-lərin mövcudluğunu və bütövlüyünü təmin etmək üçün çox vacibdir.

Zərərli niyyət, səhlənkarlıq və ya təsadüfi açıqlama nəticəsində yaranan daxili təhlükələr səhiyyə IT sistemləri üçün böyük risk yaradır. Səhiyyə IT sistemlərinə girişi olan istifadəçilər təhlükəsizliyi poza bilər. Girişə ciddi nəzarət, davamlı monitorinq və səhiyyə IT sistemlərinin idarə olunması ilə bağlı aydın siyasətin həyata keçirilməsi bu riskləri azalda bilər.

Açıq portların olması, müdaxilənin aşkarlanması sistemlərinin olmaması və qeyri-adekvat şəbəkələrarası mühafizə səhiyyə IT sistemlərini kiberhücumlara qarşı həssas edir. Şəbəkə təhlükəsizliyi tədbirləri, o cümlədən müdaxilələrin qarşısının alınması sistemlərinin tətbiqi və müntəzəm nüfuz testi səhiyyə şəbəkələrinin kibertəhlükəsizliyinin gücləndirilməsi üçün çox vacibdir.

Tibbi cihazların, o cümlədən IoMT cihazlarının səhiyyə IT sistemlərinə inteqrasiyası əlavə zəifliklər yaradır. Bu cihazlar lazımi şəkildə qorunmazsa təcavüzkarlar üçün giriş nöqtəsi ola bilər. Müntəzəm cihaz təhlükəsizlik yeniləmələrinin təmin edilməsi, zəifliklərin qiymətləndirilməsi və cihazın təhlükəsizlik standartlarına riayət edilməsi səhiyyə sistemlərinin bütövlüyünü qorumaq üçün çox vacibdir.

Çox vaxt səhiyyə təşkilatları üçüncü tərəf xidmət təminatçıları ilə inteqrasiya olur ki, bu da əlavə zəifliklər yaradır. FTM-in kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi, xarici

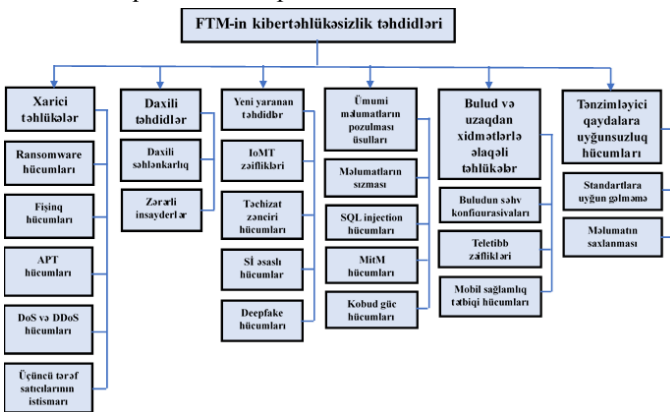
əlaqələrdən yaranan riskləri minimuma endirmək üçün sistem təhlükəsizliyinin müntəzəm qiymətləndirilməsini tələb edir.

İnsan faktoru səhiyyə IT sisteminin zəifliyinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Fişinq müəyyən edilməsi, güclü parolların təyin edilməsi və s. kimi kibertəhlükəsizlik praktikalarına dair kifayət qədər məlumatın olmaması FTM kibertəhlükəsizlik pozuntularına səbəb ola bilər. Davamlı təhsil və maarifləndirmə kampaniyaları səhiyyə işçilərinə potensial FTM risklərini müəyyən etmək və minimuma endirmək üçün lazım olan bilikləri təmin etmək üçün çox vacibdir.

Səhiyyə IT sisteminin kibertəhlükəsizliyinə qarşı mümkün insidentlərə cavab planının olması çox vacibdir. Əks halda, insidentlərin aşkarlanması və həllində əhəmiyyətli problemlər yaranı bilər və səhiyyə sahəsində IT kibertəhlükəsizliyinin pozulmasının nəticələri daha da ağırlaşsın bilər. Proaktiv insident cavablandırma üsullarından istifadə səhiyyə IT kibertəhlükəsizlik insidentlərinin təsirini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Müəyyən edilmiş zəifliklərin aradan qaldırılması üçün texnoloji həllər, işçilərin təlimi və kibertəhlükəsizlik üzrə ən yaxşı təcrübələrdən istifadəni birləşdirən hərtərəfli yanaşma tələb olunur. Səhiyyə IT sisteminin kibertəhlükəsizliyinin müntəzəm monitorinqi və auditi səhiyyə təşkilatlarına potensial riskləri müəyyən etməyə və azaltmağa kömək edə bilər.

V. FƏRDI TİBBİ MƏLUMATLARI HƏDƏF ALAN ÜMUMİ KİBERTƏHLÜKƏSİZLİK TƏHDİDLƏRİ

Rəqəmsal tibbi cihazların geniş istifadəsi həm istifadəçiləri, həm də səhiyyə təşkilatlarını hədəf alan müxtəlif kiber təhlükələrə səbəb olur. Səhiyyə təşkilatları üçün ümumi kibertəhlükəsizlik təhdidlərinə “ransomware” hücumları, fişinq hücumları, məlumatların pozulması, daxili təhdidlər, APT hücumları, zərərli proqramlar, casus proqramlar, ortada adam (MitM) hücumları, bir-biri ilə əlaqəli tibbi cihaz zəiflikləri və digərləri daxildir (Şəkil 2). Rəqəmsal tibbi cihazları bu təhdidlərin qoruması kompleks tədbirlər tələb edir.



Şəkil 2. FTM-ə ümumi kibertəhlükəsizlik təhdidləri.

Ransomware hücumları rəqəmsal tibbi cihazların təhlükəsizliyi üçün ən ciddi təhdidlərdən biridir və çox vaxt həssas məlumatların tamamilə itirilməsinə səbəb olur [5]. Bu cür hücumlar zamanı kibercinayətkarlar xəstələrin mühüm məlumatlarını şifrələyir və giriş bərpa etmək üçün səhiyyə təşkilatlarından ödəniş tələb edirlər. Bu hücumlar səhiyyə sistemlərini və xəstələrə göstərilən tibbi xidmətləri ciddi şəkildə poza bilər və etibarlı məlumat ehtiyat nüsxələri

olmadıqda, həssas məlumatların tamamilə itirilməsinə səbəb ola bilər. Bununla yanaşı, bu cür hücumlar səhiyyə sistemlərinə inamı sarsıda bilər.

Fişinq hücumları insanların psixoloji zəifliklərindən istifadə edir və qurbanları aldadaraq giriş məlumatlarını əldə edir və ya zərərli proqram quraşdırır [5]. Fişinq tibb işçilərinə, inzibati heyətə və xəstələrə qarşı istifadə edilən ümumi üsuldur. Bu halda, kibercinayətkarlar qurbanları aldatmaq üçün fişinq e-poçtları, veb-saytlar və ya mətn mesajları kimi aldadıcı üsullardan istifadə edirlər.

Məlumatların məxfiliyinin pozulması səhiyyə məlumat bazalarına və ya sistemlərinə icazəsiz giriş nəticəsində baş verə bilər. Bunun nəticəsində şəxsi məlumatlar açıla və zərərli məqsədlər üçün istifadə edilə bilər. Məlumatların konfidensiallığının pozulmasının əsas səbəbləri qeyri-adekvat təhlükəsizlik protokollarının və zəifliklərə malik köhnəmiş proqram təminatının istifadəsi, həmçinin giriş nəzarət sisteminin düzgün konfigurasiya edilməmsidir..

Çox vaxt səhiyyə IT sisteminə giriş hüququ olan şəxslər tərəfindən həyata keçirilən *daxili təhdidlər* FTM-in kibertəhlükəsizliyi üçün risklər yaradır [4]. Giriş zəif nəzarətin olması və qeyri-effektiv monitorinq nəticəsində bu təhlükələrin nəticələri daha təsirli ola bilər. Daxili təhdidlərin əsas məqsədləri maliyyə mənfəəti, şəxsi mənfəət və s. ola bilər. Giriş nəzarətin gücləndirilməsi və davamlı monitorinqin həyata keçərlməsi bu təhlükələrin riskini azalda bilər.

APT hücumları FTM üçün ciddi risklər yaranan və uzun müddət aşkarlanmayan mürəkkəb kiberhücumlardır. Bu hücumlar səhiyyə IT sistemlərinə icazəsiz giriş əldə edə və uzun müddət aşkarlanmaya bilər. Çox vaxt, bu hücumların məqsədi məlumatları tədricən silməkdir ki, bu da FTM-in həm məxfiliyinə, həm də bütövlüyünə ciddi təhlükə yaradır.

Zərərli proqramlar və casus proqramları, adətən yenilənməyən proqram təminatı, mühafizə edilməyən cihazlar və təhlükəsizliyi pozulmuş şəbəkələr vasitəsilə səhiyyə IT sistemlərinə nüfuz edir. Bu zərərli proqramlar FTM-in əldə edilməsinə, səhiyyə xidmətlərinin pozulmasına və ya daha mürəkkəb hücumlar üçün istifadə edilə bilər.

MitM hücumları zamanı kibercinayətkarlar şifrələnmiş və ya şifrələnməmiş şəbəkə əlaqələri üzərindən iki tərəf arasında göndərilən məlumatları ələ keçirir. Bu cür hücumlar ötürmə zamanı FTM-nin icazəsiz tutulması və ya manipulyasiyası ilə nəticələnə bilər. Təhlükəsiz şəbəkə protokollarının və şifrələmə alqoritmlərinin istifadəsi bu təhlükələri azalda bilər.

Bir-biri ilə əlaqəli tibbi cihazların və IoMT-lərin geniş istifadəsi ciddi zəifliklər yaradır [1, 19]. Bu cihazların bir çoxunda güclü təhlükəsizlik tədbirləri yoxdur, bu da onları hücumla həssas edir. Təhlükə yarandığı halda, bu cihazlar FTM-ni sızdıraraq, xəstənin təhlükəsizliyinə təhlükə yarada bilər.

VI. FƏRDI TİBBİ MƏLUMATLAR ÜÇÜN TƏHLÜKƏSİZLİK VƏ TƏNZİMLƏYİCİ ÇƏRÇİVƏLƏR

FTM-i icazəsiz girişdən, məlumat sızmasından və sui-istifadədən mühafizə etmək üçün möhkəm təhlükəsizlik və tənzimləyici çərçivə vacibdir. Bu çərçivələr FTM-nin məxfiliyini, bütövlüyünü və əlçatanlığını təmin etmək üçün səhiyyə təşkilatlarının əməl etməli olduğu təlimatları və

standartları təmin edir. FTM-in kibertəhlükəsizliyi bir sıra milli və beynəlxalq qanunlar, qaydalar və standartlarla tənzimlənir.

CƏDVƏL 1. FƏRDI TİBBİ MƏLUMATLARIN TƏHLÜKƏSİZLİYİ VƏ TƏNZİMLƏYİCİ ÇƏRÇİVƏLƏRİ

Qanun/standart	Kategoriya	Ölkə/region	Əsas tələblər/Prinsiplər	Tətbiq sahəsi
HIPAA (Səhiyyə Sığortası Portativliyi və Məsuliyyət Aktı)	Qanuni çərçivə	ABŞ	– Məxfilik və təhlükəsizlik standartları – İnzibati, fiziki, texniki tədbirlər – Məlumatın mühafizəsi və hesabatlılıq	Səhiyyə qurumları, tibbi məlumat-ları emal edən şirkətlər
GDPR (Ümumi Məlumat Qorunma Qaydası)	Qanuni çərçivə	Avropa İttifaqı	– Açıq razılıq və məlumat minimumu – Məlumatlara daxil olma, düzəliş və silmə hüququ – Davamlı monitoring	AB-də fəaliyyət göstərən və ya AB vətəndaş-larının məlumat-larını emal edən təşkilatlar
CCPA (Kaliforniya Məxfilik Aktı)	Qanuni çərçivə	ABŞ (Kaliforniya)	– Şəffaflıq və məlumat nəzarəti – İstehlakçıların məlumatlarına nəzarət hüququ – Sərt məlumat idarəetmə siyasəti	Kaliforniyada fəaliyyət göstərən və müəyyən həcmi ötən şirkətlər
Kanada Fərdi Məlumatların Mühafizəsi Aktı	Qanuni çərçivə	Kanada	– Şifrələmə, rol əsaslı giriş – İşçi təlimi və insident protokolları – Dövri təhlükəsizlik qiymətləndirmələri	Kanada qanunlarına tabe olan təşkilatlar
Avstraliya Məxfilik Aktı	Qanuni çərçivə	Avstraliya	– Məlumatların toplanması, istifadəsi və açıqlanması qaydaları – Risk idarəetmə tədbirləri	Avstraliyada fəaliyyət göstərən təşkilatlar
ISO/IEC 27001	Beynəlxalq standart	Beynəlxalq	– İnformasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sistemi (ISMS) – Risk əsaslı yanaşma – Davamlı yaxşılaşdırma	İnformasiya təhlükəsizliyini təmin etmək istəyən istənilən təşkilat
ISO/IEC 27701	Beynəlxalq standart	Beynəlxalq	– Məxfi məlumatların idarə edilməsi	Xüsusi məxfilik tələbləri yüksək olan sektorlar (səhiyyə, maliyyə və s.)

HIPAA ABŞ-da səhiyyə məlumatlarının qorunması üçün əsas qanundur. O, FTM-in məxfiliyi və təhlükəsizliyi üçün ciddi inzibati, fiziki və texniki tədbirlər tələb edən milli standartları müəyyən edir [6]. CCPA kimi yeni qaydalar, FTM daxil olmaqla, fərdi məlumatların məxfiliyinin təmin edilməsi məsələsini genişləndirir [7]. Bu qaydalar fərdlərə öz məlumatları üzərində tam nəzarət imkanı verməklə yanaşı, şəffaflıq və hesabatlılıq üçün geniş öhdəliklər qoyur və təşkilatlardan məlumatların daha sərt idarə edilməsi siyasətinin qəbul edilməsini tələb edir.

Aİ-də GDPR fərdi məlumatların, o cümlədən FTM-nin qorunması üçün hərtərəfli hüquqi baza təqdim edir və məlumatların minimuma endirilməsini və açıq-aşkar razılığı təmin edir [8, 20]. Bundan əlavə, GDPR fərdlərə öz məlumatlarına daxil olmaq, düzəlişlər etmək və silmək hüququ verir. Bu tələblər Aİ-də fəaliyyət göstərən və ya onunla qarşılıqlı əlaqədə olan səhiyyə təşkilatlarını təhlükəsiz məlumat idarəçiliyi və davamlı monitoring təcrübələrini həyata keçirməyə məcbur edir.

Eynilə, Kanada, Avstraliya və bəzi Asiya ölkələri FTM-i tənzimləmək üçün xüsusi məxfilik qanunları yaratmışlar. Kanada Fərdi Məlumatların Mühafizəsi və Elektron Sənədlər Aktı və Avstraliya Məxfilik Aktı FTM-nin toplanması, istifadəsi və açıqlanması üçün tələbləri müəyyən edir. Bu aktlar riskləri azaltmaq üçün şifrələmə, rol əsaslı girişə nəzarət, hərtərəfli işçi təlimi, insidentlərə cavab protokolları və dövri FTM təhlükəsizlik qiymətləndirmələrini təşviq edən beynəlxalq təcrübəyə uyğundur.

Müxtəlif sənaye standartları da FTM-in kibertəhlükəsizliyinin formalaşmasında əsas rol oynayır. Məsələn, ISO/IEC 27001 informasiya təhlükəsizliyinin idarə edilməsinə [18], ISO/IEC 27701 isə FTM-nin məxfiliyinin və bütövlüyünün təmin edilməsi üçün təlimatlar təqdim edərək, məxfi məlumatların idarə edilməsinə tələblər qoyur [21]. Bu standartlar səhiyyə təşkilatlarına effektiv kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin işlənilməsi, hazırlanması, həyata keçirilməsi və saxlanılması üçün strukturlaşdırılmış yanaşma təqdim edir. Onlar həmçinin riskə əsaslanan metodologiyaları dəstəkləyərək, təşkilatları davamlı olaraq zəiflikləri qiymətləndirməyə, potensial təhdidləri izləməyə və yaranan riskləri həll etmək üçün kibertəhlükəsizliyə nəzarəti artırmağı çağırırlar. Hüquqi, texniki və təşkilati təhlükəsizlik tədbirlərini birləşdirərək, səhiyyə təşkilatları normativlərə uyğunluğu təmin edə, yaranan kibertəhlükələrə qarşı FTM-in dayanıqlığını yaxşılaşdırma və nəticədə xəstələrin etibarını və təhlükəsizliyini təmin edə bilər.

VII. GƏLƏCƏK TENDENSIYALAR

Qabaqcıl texnologiyaların istifadəsi, normativ-hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi və risklərin kompleks idarə edilməsi strategiyalarının həyata keçirilməsi FTM-in kibertəhlükəsizliyində yeni tendensiyalar yaradır. Bu, əsasən FTM-in təhlükəsizliyini, məxfiliyini və bütövlüyünü təmin etməklə yanaşı, mövcud və yaranan zəiflikləri aradan qaldırmağa yönəlib.

Sİ və MT texnologiyalarının istifadəsi FTM-in kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar proqnozlaşdırıcı analitika, anomaliyaların aşkarlanması və kibertəhlükələrə cavab mexanizmlərinin

avtomatlaşdırılmasına imkan verir. Sİ-yə əsaslanan sistemlər kibertəhlükəsizlik pozuntularını göstərə bilən qeyri-adi nümunələri aşkar etmək üçün böyük həcmdə FTM-i emal etməyə qadirdir. Sİ real vaxtda təhdidləri aşkar etmək və onlara cavab vermək üçün kibertəhlükəsizlik tədbirlərinin effektivliyini artırır. MT modellərinin istifadəsi yalnız pozitivlərin sayını azalda və FTM-in kibertəhlükələrinin daha dəqiq qiymətləndirilməsini təmin edə bilər.

Blockchain texnologiyası FTM-in kibertəhlükəsizliyini və məxfiliyini artırmaq üçün çox böyük potensiala malikdir. Mərkəzləşdirilməmiş və müdaxiləyə qarşı davamlı infrastruktura malik olan blokçeyn texnologiyası FTM-in bütövlüyünə və məxfiliyinə zəmanət verə bilər [22, 23]. Bu, məlumatların şəffaf idarə edilməsini təmin edə və nəticədə xəstələr və tibb işçiləri arasında etimadı artırır. Bundan əlavə, blokçeyn texnologiyası müxtəlif səhiyyə sistemləri arasında təhlükəsiz məlumat mübadiləsini dəstəkləyir. Blockchain əsaslı təhlükəsiz məlumat mübadiləsi və müxtəlif səhiyyə sistemlərinin inteqrasiyası FTM-in idarə edilməsinin şəffaflığını və etibarlılığını artırır.

Kvant hesablamaların meydana gəlməsi FTM-nin kibertəhlükəsizliyinə həm imkanlar, həm də risklər gətirir. Kvant texnologiyaları hesablama imkanlarını təkmilləşdirmək potensialına malikdir, lakin onlar mövcud kriptografik alqoritmlər üçün ciddi problemlər yaradır. Buna görə də, FTM-ni post-kvant təhlükələrindən qorumaq üçün kvant hesablamalarına davamlı olan kriptografik alqoritmlərin işlənməsi və həyata keçirilməsi vacibdir [24].

VIII. NƏTİCƏ

Dayanıqlı, çevik və çox səviyyəli FTM kibertəhlükəsizlik sistemlərinin yaradılması səhiyyənin sürətli rəqəmsal transformasiyası kontekstində getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Bu zaman, FTM-in məxfiliyini təhdid edən kibertəhlükələrin artan mürəkkəbliyinin və müxtəlifliyinin nəzərə alınması xüsusilə vacibdir. FTM-in məxfiliyinin pozulması səhiyyə sistemlərinə ictimai inamı sarsıdır və xəstələrə tibbi xidmətlərin effektiv şəkildə çatdırılmasına mane ola bilər. FTM-in kibertəhlükəsizliyi həm texnoloji, həm də daimi diqqət və fəal tədbirlər tələb edən etik və hüquqi məsələdir. Beləliklə, FTM-in kibertəhlükəsizliyi səhiyyə sistemlərinə ictimai inamın təmin edilməsində, xəstələrin məxfiliyinin qorunmasında və səhiyyənin təhlükəsiz və effektiv çatdırılmasında əsas rol oynayır. Bu tədqiqat işində FTM-in kibertəhlükəsizliyinin əsas aspektləri, o cümlədən FTM-in rəqəmsallaşması ilə bağlı risklər, müasir səhiyyə IT sistemlərinin zəiflikləri, mövcud kibertəhlükələr, təhlükəsizlik standartları və tənzimləyici tələblər, həmçinin FTM-in kibertəhlükəsizliyinin artırılması üçün perspektivli sahələr təhlil edilmişdir. Beləliklə, insanları, sistemləri və texnologiyaları birləşdirən hərtərəfli strategiyadan istifadə etməklə səhiyyə təşkilatları FTM-in məxfiliyini və kibertəhlükəsizliyini təmin edə bilər.

Bununla yanaşı, FTM kibertəhlükəsizliyinin dinamik və çoxşaxəli bir sahə olduğunu, həmçinin texnoloji inkişafı və yeni təhdidləri nəzərə alınaraq gələcək tədqiqatlar daha çevik və proaktiv mühafizə strategiyalarına yönəlməlidir. Əsas gələcək tədqiqat istiqamətləri süni intellekt, maşın təlimi, blokçeyn,

fərdi məlumatların anonimləşdirilməsi, real-zamanda kibertəhlükəsizlik monitorinqinin texnologiyalarının FTM-in kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsində tətbiqi məsələlərindən ibarətdir. Bu istiqamətlərdə aparılacaq işlər, nəinki FTM-in kibertəhlükəsizliyini artıracaq, həm də səhiyyə sistemlərinin ümumi etibarlılığını gücləndirəcəkdir.

MINNƏTDARLIQ

Bu iş Azərbaycan Elm Fondu tərəfindən dəstəklənib – Qrant № AEF-MCG-2023-1(43)-13/04/1-M-04.

ƏDƏBİYYAT

- [1] Thomasian N.M., Adashi E.Y. (2021). Cybersecurity in the Internet of Medical Things. *Health Policy Technol.*, 10(3), 100549. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2021.100549>.
- [2] NIST. Implementing a Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207. National Institute of Standards and Technology; 2020. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>.
- [3] Edo O.C., Ang D., Billakota P., Ho J.C. (2023). A Zero Trust Architecture for Health Information Systems. *J Med Syst.*, 4, 189-199. <https://doi.org/10.1007/s12553-023-00809-4>.
- [4] Newaz A.I., Sikder A.K., Rahman M.A., Uluagac A.S. (2021). A survey on security and privacy issues in modern healthcare systems: Attacks and defenses. *ACM Trans Comput Healthc.*, 2(3), 27. <https://doi.org/10.1145/3453176>.
- [5] Al-Qarni E.A. (2023). Cybersecurity in Healthcare: A Review of Recent Attacks and Mitigation Strategies. *Int J Adv Comput Sci Appl.*, 14(5), 135-140. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140513>.
- [6] Cohen I.G., Mello M.M. (2018). HIPAA and protecting health information in the 21st century. *JAMA*, 320(3), 231-232. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.5630>.
- [7] California Legislative Information. California Consumer Privacy Act (CCPA). https://leginfo.ca.gov/faces/codes_displayText.xhtml?division=3.&part=4.&lawCode=CIV&title=1.81.5.
- [8] European Union General Data Protection Regulation (GDPR). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>.
- [9] Adeniyi A.O., Arowoogun J.O., Chidi R., Okolo C.A., Babawarun O. (2024). The impact of electronic health records on patient care and outcomes: A comprehensive review. *World J Adv Res Rev.* 21(2), 1446-1455. <http://dx.doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.2.0592>.
- [10] Mehta N., Chaudhary A. (2022). Infrastructure and System of Telemedicine and Remote Health Monitoring. In: Choudhury T, Katal A, Um JS, Rana A, Al-Akaidi M, editors. *Telemedicine: The Computer Transformation of Healthcare*. Springer, 13-28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99457-0_2.
- [11] Caracciolo A.L., Marino M.M., Caracciolo G. (2022). Patient-Physician Relationship in Telemedicine. In: Choudhury T, Katal A, Um J.S., Rana A, Al-Akaidi M, editors. *Telemedicine: The Computer Transformation of Healthcare*. Springer, 123-138. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99457-0_4.
- [12] Griebel L., Prokosch H.U., Köpcke F., Toddenroth D., Christoph J., Leb I., Engel I., Sedlmayr M. (2015). A scoping review of cloud computing in healthcare. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 15(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12911-015-0145-7>.
- [13] Ganie S.M., Malik M.B., Arif T. (2022). Machine Learning Techniques for Big Data Analytics in Healthcare: Current Scenario and Future Prospects. In: Choudhury T, Katal A, Um J.S., Rana A, Al-Akaidi M, editors. *Telemedicine: The Computer Transformation of Healthcare*. Springer, 157-177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99457-0_6.
- [14] Al Mudawi N., Alazeb A., Alshehri M.S., Almakdi S. (2023). Machine Learning Algorithms for Health Data Security: A Systematic Review. In: T. Choudhury, A. Katal, J. S. Um, A. Rana, and M. Al-Akaidi, editors. *Cloud Computing in Medical Imaging*. CRC Press, 53-78. <https://doi.org/10.1201/9781003145189-3>.

-
- [15] Raghupathi W. and Raghupathi V. (2014). Big data analytics in healthcare: Promise and potential. *Health Inform Sci Syst.*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2047-2501-2-3>.
- [16] De Aguiar E.J., Traina C Jr, Traina AJM. (2023). Security and Privacy in Machine Learning for Health Systems: Strategies and Challenges. *Yearb Med Inform.* 32(1):269-281. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1768731>.
- [17] Peterson R., DeCew J. (2020). Ethical and Privacy Considerations in Healthcare Cybersecurity. *Ethics Med Public Health.*, 15, 100564. <https://doi.org/10.1016/j.jemep.2020.100564>.
- [18] ISO/IEC 27001:2013 Information technology - Security techniques - Information security management systems - Requirements. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission.
- [19] Sun Y., Lo F.P-W., Lo B. (2019). Security and privacy for the internet of medical things-enabled healthcare systems: A survey. *IEEE Access.*,7, 102580-102588. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2960617>
- [20] .Voigt P., von dem Bussche A. (2017). The EU General Data Protection Regulation (GDPR): A Practical Guide. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319579597>.
- [21] ISO/IEC 27701:2019 Privacy information management - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission.
- [22] Huang L., Lee H.H. (2020). A Medical Data Privacy Protection Scheme Based on Blockchain and Cloud Computing. *Wirel Commun Mobile Comput.*, 8859961. <https://doi.org/10.1155/2020/8859961>.
- [23] Jin H., Xu C., Luo Y., Li P. (2020). Blockchain-Based Secure and Privacy-Preserving Clinical Data Sharing and Integration. In: Qiu M, editor. *Algorithms and Architectures for Parallel Processing*. Springer, 123-139. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60248-2_7.
- [24] SaberiKamarpashti M., Ng K.-W., Chua F.-F., Abdullah J., Yadollahi M., Moradi M., Ahmadpour S. (2024). Post-quantum healthcare: A roadmap for cybersecurity resilience in medical data, *Heliyon*, 10(10), e31406. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31406>.

Tibbi Verilənlərin Monetizasiyası Məsələləri

Rasim Mahmudov

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
rasimmahmudov@gmail.com

Xülasə—Müasir rəqəmsal texnologiyaların inkişafı nəticəsində tibbi verilənlər səhiyyə sisteminin əsas resurslarından birinə çevrilmişdir. Elektron sağlamlıq qeydləri, genetik informasiya, mobil tətbiqlər və daşınan texnologiyalar vasitəsilə toplanan məlumatlar təkcə klinik məqsədlərlə deyil, həm də əczaçılıq, sığorta və süni intellekt əsaslı xidmətlər üçün iqtisadi dəyər daşıyır. Bu məqalədə tibbi verilənlərin növləri və monetizasiya formaları təhlil olunur, məlumatların emal və kommersiyalaşdırılma mərhələləri araşdırılır, etik və hüquqi məsələlər dəyərləndirilir, eləcə də, bu sahədə qabaqcıl ölkələrin təcrübəsi şərh olunur. Azərbaycan kontekstində tibbi verilənlərin iqtisadi dövriyyəyə cəlb olunması potensialı və qarşıya çıxan çağırışlar təhlil edilir. Məqalənin məqsədi tibbi verilənlərin istifadəsində iqtisadi fayda ilə etik prinsiplər arasında balans təmin edən effektiv və davamlı bir modelin konturlarını müəyyənləşdirməkdir.

Açar sözlər— tibbi verilənlər, verilənlərin monetizasiyası, tibbi verilənlərin növləri, elektron sağlamlıq qeydləri, fərdi məlumatlar.

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı bütün sferalarda olduğu kimi, tibb sahəsində də böyük dəyişikliklərə səbəb olur. Xəstələrin sağlamlıq qeydləri, genetik məlumatlar, həyat tərzinə dair rəqəmsal göstəricilər və mobil tətbiqlər vasitəsilə toplanan sağlamlıq haqqında məlumatlar artıq səhiyyə sisteminin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir. Bu məlumatların təkcə diaqnostika və müalicə prosesində deyil, həm də əczaçılıq, sığorta və süni intellekt sahələrində geniş istifadə imkanları meydana çıxmışdır.

Tibbi verilənlərin böyük həcmi və yüksək dəyəri onların kommersiya potensialını artırır [1]. Bu verilənlər üzərində aparılan analizlər, həm tədqiqatlar üçün elmi əhəmiyyət daşıyır, həm də korporativ strukturlar üçün iqtisadi dəyər yaradır. Belə bir vəziyyət, təbii olaraq tibbi verilənlərin monetizasiyası – yəni onların iqtisadi gəlir məqsədilə istifadəsi məsələsini aktuallaşdırır.

Lakin bu sahədə yaranan iqtisadi imkanlarla yanaşı, etik və hüquqi məsələlər də aktuallaşır [2]. Xəstələrin məlumatlarının konfidensiallığı, onların razılığı olmadan istifadəsi, gəlirin paylaşdırılması və sosial ədalət kimi məsələlər bu sahədə həllini gözləyən problemlər sırasındadır. Bu səbəbdən də tibbi verilənlərin istifadəsində yalnız texnoloji və iqtisadi deyil, həm də normativ və sosial baxımdan kompleks yanaşma tələb olunur.

Eyni zamanda, tibbi verilənlərin dəyəri yalnız onların satışı ilə deyil, onların əsasında yaradılan süni intellekt sistemləri, fərdiləşdirilmiş tibbi xidmətlər və əczaçılıq innovasiyaları ilə

də müəyyən edilir. Bu sahə həm elmi-tədqiqat institutları, həm texnologiya şirkətləri, həm də səhiyyə qurumları üçün yeni əməkdaşlıq modelləri yaradır.

Bu məqalədə tibbi verilənlərin növləri və monetizasiya formaları və prosesləri araşdırılır, bu sahədə qabaqcıl ölkələrin təcrübəsi şərh olunur, mövcud etik və hüquqi çərçivələr qiymətləndirilir, eləcə də bu prosesin iqtisadi və sosial nəticələri analiz edilir. Həmçinin Azərbaycanda tibbi verilənlərin dəyərə çevrilməsi imkanları dəyərləndirilir. Məqalənin məqsədi tibbi verilənlərin istifadəsində balanslı, məsuliyyətli və faydalı bir modelin necə qurula biləcəyini göstərməkdir.

II. TIBBI VERİLƏNLƏRİN MAHIYYƏTİ VƏ NÖVLƏRİ

Tibbi verilənlər insan sağlamlığı ilə bağlı olan və fərdi səviyyədə diaqnoz, müalicə, profilaktika və ya elmi tədqiqat məqsədilə toplanan hər cür məlumatı əhatə edir. Bu verilənlər təkcə klinikalardan deyil, həm də mobil sağlamlıq tətbiqləri, “ağıllı” cihazlar və genetik analiz laboratoriyalarından toplanır. Rəqəmsallaşmanın inkişafı ilə bu məlumatların miqyası və toplanma intensivliyi artmış, onların analizi və istifadəsi isə yeni imkanlar yaratmışdır. Tibbi verilənlərin aşağıdakı növləri mövcuddur:

Elektron sağlamlıq qeydləri (EHR) [3]. Elektron sağlamlıq qeydləri tibb müəssisələri tərəfindən toplanan və saxlanılan tibbi məlumatların rəqəmsal formasını əhatə edir. Bu məlumatlara pasiyentin diaqnozları, müalicə tarixçəsi, analiz nəticələri, dərman qəbulu planı və həkim qeydləri daxildir. EHR sistemləri təkcə pasiyentlə bağlı ümumi məlumatı deyil, eyni zamanda, tibb işçiləri arasında koordinasiyanı da gücləndirir.

Genetik və biomolekulyar verilənlər [4]. Genetik məlumatlar fərdin DNA strukturuna dair informasiya daşıyır. Bu verilənlər xəstəliklərin erkən aşkarlanması, fərdi dərman seçimi və gen terapiyalarının inkişafı üçün böyük əhəmiyyətə malikdir. Genetik verilənlərin monetizasiyası, xüsusilə biotexnologiya şirkətləri tərəfindən genetik bazaların əldə olunması yolu ilə həyata keçirilir.

Mobil sağlamlıq verilənləri və daşınan (wearable) texnologiyalar [5]. Ağıllı saatlar, fitnes izləyiciləri və digər mobil cihazlar vasitəsilə istifadəçilərin fiziki aktivliyi, nəbz, yuxu keyfiyyəti və digər sağlamlıq göstəriciləri daimi olaraq qeydə alınır. Bu məlumatlar həm fərdi sağlamlığın izlənməsində, həm də genişmiqyaslı sağlamlıq analizlərində istifadə olunur.

Tədqiqat və klinik sınaq məlumatları [6]. Elmi tədqiqatlar və klinik sınaqlar zamanı toplanan tibbi məlumatlar da kommersiya baxımından əhəmiyyətli. Bu məlumatlar yeni dərman və müalicə üsullarının sınaqdan keçirilməsi və təsdiqlənməsi üçün istifadə olunur və əczaçılıq sənayesində böyük dəyərə malikdir.

Sığorta və inzibati verilənlər [7]. Sığorta şirkətləri tərəfindən toplanan məlumatlara tibbi xidmətlərin tezliyi, xidmət xərcələri, xəstələrin risk profilləri və istifadə edilmiş müalicə metodları daxildir. Bu verilənlər analiz edilərək tibbi risklərin qiymətləndirilməsi və tariflərin müəyyən edilməsi üçün istifadə olunur.

III. TIBBİ VERİLƏNLƏRİN MONETİZASIYASI VƏ ONUN FORMALARI

Tibbi verilənlərin monetizasiyası - müvafiq verilənlərin birbaşa və ya dolayı yolla iqtisadi dəyərə çevrilməsi prosesidir [8]. Bu proses həm səhiyyə sahəsində fəaliyyət göstərən subyektlər (klinikalar, tədqiqat institutları, həkimlər və s.), həm də texnoloji şirkətlər, əczaçılıq sənayesi və sığorta sektorları tərəfindən həyata keçirilə bilər. Monetizasiya prosesi ya məlumatların satışı, ya da onlar əsasında yeni məhsulların və xidmətlərin yaradılması yolu ilə baş verir.

Bəzi hallarda klinikalar və tibbi tədqiqat mərkəzləri anonimləşdirilmiş (deidentifikasiya edilmiş) verilənləri üçüncü tərəflərə - əsasən, əczaçılıq şirkətlərinə, biotexnologiya firmalarına və ya sığorta şirkətlərinə satırlar [6]. Bu verilənlər, əsasən, epidemioloji tədqiqatlar, məhsul inkişafı və bazar strategiyalarının qurulması üçün istifadə olunur. Məsələn, böyük bir genetik verilənlər bazasına malik şirkət öz istifadəçilərinin genetik məlumatlarını onların razılığı ilə biotexnologiya və əczaçılıq firmalarına təqdim edərək milyonlarla dollar gəlir əldə edir.

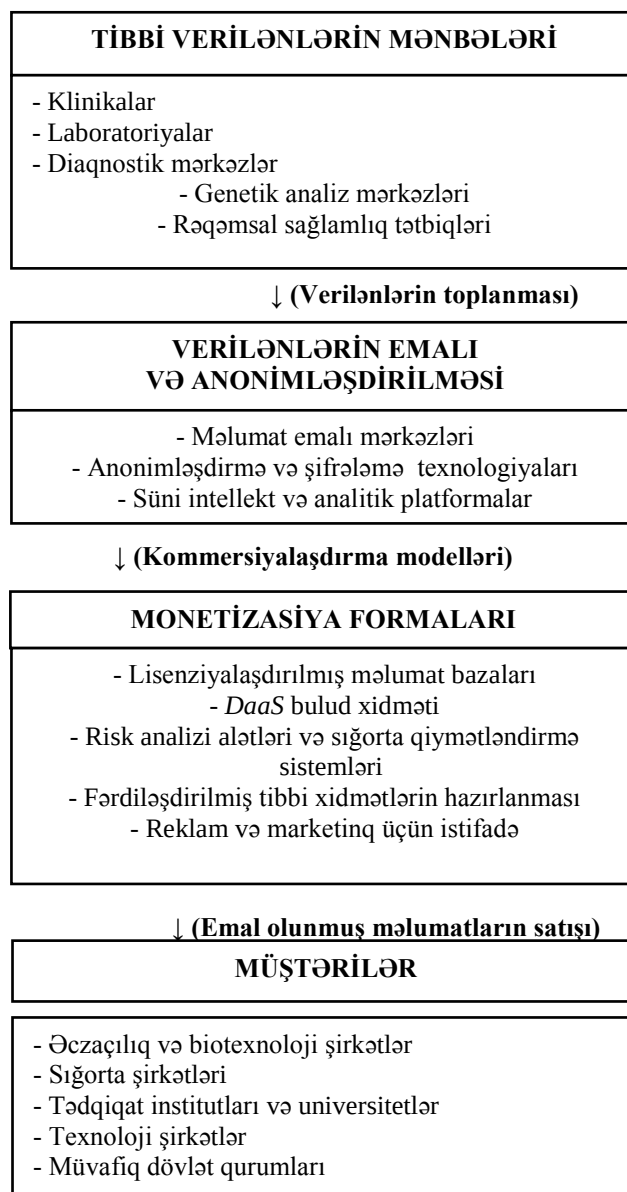
Texnoloji platformalar (məsələn, süni intellekt əsaslı diaqnostika sistemləri, sağlamlıq vəziyyətini izləmə tətbiqləri və s.) istifadəçilərdən toplanan tibbi məlumatlar əsasında məhsul və xidmətlər yaradır. Bu verilənlər üzərində qurulmuş xidmətlər birbaşa satıla bilər və ya abunəlik modeli ilə kommersiyalaşdırıla bilər. Süni intellekt sistemləri, tibbi şəkillərin avtomatik analizi və ya fərdi müalicə planlarının hazırlanması sahəsində böyük imkanlar yaradır. Belə xidmətlər həm tibb müəssisələri, həm də sığorta şirkətləri üçün yüksək dəyər kəsb edir.

Tibbi verilənlərin elmi tədqiqat məqsədilə paylaşılması nəticəsində inkişaf etdirilən yeni dərman vasitələri, tibbi texnologiyalar və ya vaksinlər dolayı yolla monetizasiyaya səbəb olur [9]. Bəzi hallarda bu əməkdaşlıqlar birbaşa kommersiya müqavilələri ilə tənzimlənir. Məsələn, tədqiqat institutu öz məlumat bazasını bir əczaçılıq şirkəti ilə bölüşür və müqabilində maliyyə dəstəyi və ya pay alır. Bu cür tərəfdaşlıqlar bilavasitə gəlir gətirməyə də, innovativ məhsulların yaranmasına və bazarı genişləndirməyə şərait yaradır.

Mobil sağlamlıq tətbiqləri və geynilən texnologiyalar vasitəsilə toplanan məlumatlar fərdi reklam və davranış

analitikası üçün də istifadə olunur. Bu texnologiyalar istifadəçilərin gündəlik sağlamlıq göstəricilərini, həyat tərzini, nümunələrini və fiziki aktivliyini izləyərək onların maraqlarına uyğun məhsul və xidmətlər təqdim edir. Belə platformalar reklam sahəsində də monetizasiya imkanı yaradır.

Sığorta şirkətləri tibbi verilənlərdən istifadə edərək daha dəqiq risk təhlilləri aparır və fərdi tarif modelləri qururlar [6]. Bu isə onların iqtisadi effektivliyini artırır. Məlumatların dəqiq analizi nəticəsində xəstələrə yönəldilən xidmətin səviyyəsi və keyfiyyəti yüksəlir, bu da dolayı şəkildə əlavə gəlir formalaşdırır.



Şəkil 1. Tibbi verilənlərin monetizasiyası prosesi.

IV. ETİK VƏ HÜQUQİ MƏSƏLƏLƏR

Tibbi verilənlərin monetizasiyası məsələsi bir çox etik və hüquqi problemləri aktuallaşdırır [10]. İnsan sağlamlığına dair məlumatların kommersiya dövryyəsinə daxil edilməsi

cəmiyyətin müxtəlif təbəqələrində birmənalı qarşılanmır. Bu məlumatların toplanması, saxlanması, işlənməsi və paylaşılması ilə bağlı ciddi məxfilik, mülkiyyət və şəffaflıq prinsipləri pozula bilər. Odur ki, tibbi verilənlərin iqtisadi dəyərə çevrilməsi yalnız texnoloji və iqtisadi məsələ deyil, həm də hüquq və etik baxımından ciddi tənzimləmə tələb edən bir sahədir.

Ən mühüm hüquqi suallardan biri budur ki, tibbi məlumatlara kim sahiblik etməlidir: fərdin özü, məlumatı toplayan tibbi müəssisə, yoxsa bu verilənləri analiz edən texnoloji şirkət? Əksər beynəlxalq hüquqi sənədlərdə, xüsusilə, Avropa İttifaqının Ümumi Məlumatların Qorunması Qaydalarında (*General Data Protection Regulation, GDPR*) fərdi məlumatlar üzərində nəzarət hüququ birbaşa fərdin özünə aid edilir [11]. Fərd məlumatının hansı məqsədlərlə istifadə olunacağına razılıq verməli və istədiyi zaman bu razılığı geri götürə bilməlidir.

Lakin bir çox hallarda pasiyentlər topladıqları verilənlərin necə istifadə olunduğundan xəbərsiz olur və "razılıq formaları" texniki, anlaşılmaz və qeyri-şəffaf şəkildə təqdim edilir. Bu isə verilənlərin nəzarətsiz, pasiyentlərin iradəsinə zidd şəkildə istismar olunması ehtimalını artırır.

Müvafiq hüquqi sənədlərdə verilənlərin kommersiya məqsədilə paylaşılması zamanı onların anonimləşdirilməsi əsas tələb kimi qəbul olunur. Lakin bu texniki proses dafələrlə təhlükəsizlik və şəxsiyyətin yenidən müəyyən olunması riski ilə üzləşib. Məsələn, tanınmış bir tədqiqatda sadəcə 3 məlumat növü (cins, doğum tarixi və poçt indeksi) əsasında ABŞ əhalisinin 87%-nin şəxsiyyəti təyin olunmuşdur [12]. Bu fakt göstərir ki, "anonimləşdirilmiş" məlumatlar da, əslində, təhlükəsiz deyil və onların kommersiyalaşdırılması etik baxımdan mübahisəlidir.

Bir çox tədqiqat və kommersiya layihəsində məlumatın ilkin toplanma məqsədi ilə sonrakı istifadəsi fərqlidir. Məsələn, məlumatlar əvvəlcə diaqnoz və müalicə məqsədi ilə toplanır, lakin sonradan statistik analizlərdə, marketing layihələrində və ya reklam platformalarında istifadə edilə bilər. Bu isə ikili istifadə problemini yaradır. Etik yanaşma ondan ibarətdir ki, fərd məlumatının bu şəkildə istifadəsinə aydın, informasiyalı və könüllü razılıq verdikdə proses legitim hesab edilə bilər. Lakin praktikada bu, çox zaman kağız üzərində qalır.

Avropa İttifaqında qüvvədə olan Ümumi Məlumatların Qorunması Qaydaları (*GDPR*) tibbi və şəxsi məlumatların qorunmasına dair ən sərt normativ aktlardan biri hesab olunur. *GDPR*-ə əsasən, hər bir vətəndaş şəxsi məlumatlarının: toplanma səbəbi, saxlanma müddəti, paylaşılma forması haqqında məlumat almaq hüququna malikdir [11]. Həmçinin, o, bu məlumatları silmək, dəyişmək və ya istifadəni məhdudlaşdırmaq hüququnu da özündə saxlayır.

ABŞ-da isə "Tibbi Sığortanın Portativliyi və Hesabatlılığı haqqında qanun" (*Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA*) tibbi məlumatların gizliliyi və təhlükəsizliyinə dair əsas hüquqi çərçivəni müəyyən edir [13]. *HIPAA* fərdi tibbi məlumatların icazəsiz paylaşılmasının

qarşısını alır, lakin texnoloji şirkətlərin sürətli inkişafı səbəbilə bu qanunun da tez-tez təkmilləşdirilməsinə ehtiyac duyulur.

Tibbi verilənlərin monetizasiyası bəzən rəqəmsal ədalətsizlik problemini də kəskinləşdirir. Belə ki, bəzi ölkələrdə sosial cəhətdən zəif və informasiya hüquqları haqqında bilgiləri olmayan qruplar (yaşlılar, kənd yerlərində yaşayanlar, etnik azlıqlar) tez-tez məlumat istismarına məruz qalır [14]. Onların sağlamlıq məlumatları daha asanlıqla "razılıq" əsasında toplanır və kommersiya məqsədilə istifadə edilir. Bu isə etik baxımdan qeyri-bərabər münasibət və rəqəmsal ayrı-seçkilik yaratmış olur. Ədalətli monetizasiya yalnız şəffaf, könüllü və məlumatlı razılıqla mümkündür.

Etik və hüquqi baxımdan şəffaflıq əsas prinsiplərdən biridir. Tibbi verilənləri toplayan və istifadə edən subyektlər bu məlumatlarla nə etdiklərini ictimaiyyətə açıq və anlaşıqlı şəkildə bəyan etməlidir. Bu məqsədlə bəzi ölkələrdə verilənlərin istifadəsi reyestrləri, məlumat idarəetmə panelləri və etika komitələrinin icazə mexanizmləri yaradılmışdır [15]. Həmçinin, məlumat pozuntuları baş verdikdə şirkətlər və qurumlar hesabat vermə öhdəliyi daşmalıdır. Bu, ictimai etimadı qorumaq üçün əsas mexanizmdir.

V. BEYNƏLXALQ TƏCRÜBƏ

Tibbi verilənlərin monetizasiyası artıq bir çox inkişaf etmiş ölkələrdə səhiyyə sisteminin və rəqəmsal iqtisadiyyatın ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Bu prosesdə əsas məqsəd tibbi xidmətlərin keyfiyyətini artırmaq, tibbi tədqiqatlara dəstək vermək və innovativ texnologiyalar vasitəsilə daha dayanıqlı tibbi idarəçilik sistemi yaratmaqdır. Lakin ayrı-ayrı ölkələrin bu sahəyə yanaşması onların hüquqi çərçivəsi, texnoloji infrastrukturunu və ictimai qəbul səviyyəsindən asılı olaraq fərqlənir.

ABŞ. Bu ölkə dünyada tibbi verilənlərin monetizasiyası sahəsində ən qabaqcıl mövqedə olanlardan biridir [16]. ABŞ-da səhiyyə sisteminin özəlləşdirilmiş strukturu məlumatların kommersiya məqsədilə istifadəsini asanlaşdırır. *HIPAA* çərçivəsində fərdi məlumatların qorunması tənzimlənsə də, anonimləşdirilmiş tibbi verilənlər geniş şəkildə paylaşılır və satılır. *Google Health, Apple, IBM Watson Health, Epic Systems* və digər texnoloji şirkətlər bu məlumatlardan süni intellekt əsaslı həllər, fərdi müalicə metodları və yeni dərman tədqiqatları üçün istifadə edir. *Data Brokers* fəaliyyəti vasitəsilə bu verilənlər sığorta, marketing və səhiyyə analizləri sahələrində istifadə olunur. ABŞ-da həm *B2B* (biznes-biznes), həm də *B2G* (biznes-dövlət) formatlarında monetizasiya formaları mövcuddur: tədqiqat institutları, startaplar və dövlət orqanları bu məlumatlara əsaslanan xidmətlərdən faydalanır. Milli Səhiyyə İnstitutu (*NIH*) və Qida və Dərman Agentliyi (*FDA*) kimi qurumlar da tibbi verilənlərdən elmi və iqtisadi məqsədlərlə istifadə edirlər.

Çin. Bu ölkə son illərdə səhiyyə məlumatlarının rəqəmsallaşdırılmasına və monetizasiyasına böyük əhəmiyyət verir [17]. Xüsusilə "*Healthy China 2030*" strategiyası çərçivəsində tibbi verilənlərin toplanması və istifadəsi dövlət səviyyəsində dəstəklənir. *Tencent, Alibaba Health* və *Huawei*

kimi texnologiya nəhəngləri rəqəmsal sağlamlıq platformaları vasitəsilə tibbi verilənlərə əsaslanan xidmətlər təqdim edir. Çin modeli daha çox, *Big Data* + *AI* yanaşmasına əsaslanır və verilənlər anonimləşdirilmiş formada əczaçılıq şirkətlərinə, sığorta qurumlarına və tədqiqat mərkəzlərinə təqdim olunur. Quancjou və Şanxay kimi şəhərlərdə pilot layihələr vasitəsilə məlumatların kommersiyalaşdırılması uğurla həyata keçirilir. Qanunvericilikdə fərdi məlumatların qorunması ilə bağlı islahatlar aparılmış və 2021-ci ildə “Fərdi məlumatların mühafizəsi haqqında qanun” (*Personal Information Protection Law, PIPL*) qəbul edilmişdir. Bu qanun vasitəsilə fərdi məlumatların mühafizəsi və onlardan biznes məqsədi ilə istifadə arasında hüquqi tarazlıq təmin olunmuşdur. Beləliklə, Çin həm dövlət, həm də özəl sektor səviyyəsində tibbi verilənlərin iqtisadi potensialını reallaşdıran liderlərdən biridir.

Almaniya. Avropada tibbi verilənlərin istifadəsi və qorunması baxımından ən ciddi hüquqi çərçivəyə malik olan ölkələrdən biridir [18]. Bu ölkədə *GDPR* çərçivəsində şəxsi məlumatların istifadəsi ciddi şəkildə tənzimlənir. Lakin 2020-ci ildən başlayaraq “Rəqəmsal səhiyyə təminatı haqqında qanun” (*Digitale-Versorgung-Gesetz, DVG*) vasitəsilə rəqəmsal tibb tətbiqlərinin və elektron reseptlərin istifadəsi genişləndirilib. Bu qanunla tibbi verilənlərin rəqəmsallaşdırılması və onların təhlilinə əsaslanan innovativ xidmətlərin inkişafı dəstəklənir. *Gematik* qurumu vasitəsilə bütün səhiyyə məlumatları mərkəzləşdirilmiş elektron sağlamlıq kartları üzərindən idarə olunur. Almaniya verilənlərin monetizasiyası, əsasən, əczaçılıq tədqiqatları, rəqəmsal sağlamlıq tətbiqləri və tibbi cihazlar üzrə startap layihələri vasitəsilə həyata keçirilir. Dövlət bu sahədə şəffaflığı və ictimai etimadı qorumağa xüsusi əhəmiyyət verir. Bu səbəbdən də kommersiya məqsədi ilə tibbi verilənlərin istifadəsi yalnız anonimləşdirilmiş formada və elmi məqsədlər üçün mümkündür.

Yaponiya. Bu ölkə tibbi verilənlərin rəqəmsallaşdırılması və monetizasiyası sahəsində ehtiyatlı, lakin ardıcıl siyasət həyata keçirir [19]. 2015-ci ildən başlayaraq tətbiq edilən “*My Number*” sistemi vətəndaşların sosial və tibbi xidmətlərlə bağlı məlumatlarını unifikasiya edərək bir sistemə inteqrasiya etməyə imkan verir. Bu sistem fərdi məlumatların daha səmərəli və şəffaf şəkildə idarə olunmasına şərait yaradır. Yaponiya dövləti 2018-ci ildə “Məlumat əsaslı səhiyyə islahatı” proqramını təsdiqləyərək səhiyyə məlumatlarının toplanması, emalı və paylaşılması sahəsində qanunvericiliyi təkmilləşdirmişdir. Bu çərçivədə anonimləşdirilmiş tibbi məlumatların əczaçılıq şirkətlərinə, tədqiqat institutlarına və süni intellekt tətbiqləri üzərində çalışan startaplara satılması və ya paylaşılması mümkündür.

Fransa. Bu ölkə tibbi verilənlərin istifadəsində balanslı və dövlət yönümlü bir model tətbiq edir [20]. 2019-cu ildən ölkədə mərkəzləşdirilmiş tibbi verilənlər bazası olan Səhiyyə Məlumatları Mərkəzi fəaliyyət göstərir. Bu platforma vasitəsilə dövlət və akkreditə olunmuş təşkilatlar tədqiqat və səhiyyə xidmətlərinin təkmilləşdirilməsi məqsədilə anonimləşdirilmiş tibbi verilənlərə çıxış əldə edə bilirlər. Fransa *GDPR*-ə tam əməl etməklə yanaşı, İnformasiya Texnologiyaları və

Azadlıqlar üzrə Milli Komissiya (*Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, CNIL*) adlı müstəqil məlumatların qorunması orqanı vasitəsilə bütün məlumat axınına ciddi nəzarətdə saxlayır. Monetizasiya daha çox elmi tədqiqatlar, ictimai səhiyyə layihələri və rəqəmsal sağlamlıq startapları vasitəsilə həyata keçirilir. *Doctolib*, *Withings* kimi texnoloji şirkətlər bu məlumatlardan fərdi sağlamlıq analizi və xidmətlərin fərdiləşdirilməsi üçün istifadə edirlər. Lakin Fransa modelində məlumatların kommersiya məqsədli istifadəsinə etik və ictimai nəzarət mexanizmləri xüsusi önəm daşıyır. İcazəsiz paylaşım ciddi hüquqi məsuliyyətə səbəb olur və monetizasiya yalnız ictimai fayda əsaslı layihələrlə məhdudlaşır.

Cənubi Koreya. Cənubi Koreya rəqəmsal tibb texnologiyalarının tətbiqində dünya liderlərindən biridir. Səhiyyə və Sosial Rifah Nazirliyi (*MOHW*) və Koreya Səhiyyə Sənayesinin İnkişafına Dəstək İnstitutu (*KHIDI*) tibbi məlumatların toplanması, istifadəsi və kommersiyalaşdırılması üçün genişmiqyaslı layihələr həyata keçirirlər [21]. 2020-ci ildən etibarən ölkədə “Məlumat azadlığı zonası” adlı pilot layihələr tətbiq olunmağa başlanıb. Bu zonalarda tibbi verilənlərin istifadəsi ilə bağlı bəzi hüquqi məhdudiyyətlər yumşaldılır və innovativ startaplara məlumatlara çıxış imkanı verilir. Bu startaplar əldə etdikləri məlumatlar əsasında süni intellekt, prediktiv diaqnostika və fərdiləşdirilmiş müalicə texnologiyaları hazırlayırlar. Koreya həmçinin “*My Healthway*” adlı platforma vasitəsilə vətəndaşlara öz tibbi məlumatlarına mobil cihazlar üzərindən giriş və paylaşım imkanı yaradır. Bu model fərdi məlumat mülkiyyəti və nəzarət prinsipləri əsasında qurulub. Vətəndaş istədiyi halda öz məlumatlarını kommersiya məqsədilə paylaşaraq iqtisadi fayda da əldə edə bilər.

VI. AZƏRBAYCANDA TIBBI VERİLƏNLƏRİN MONETİZASIYASININ PERSPEKTİVLƏRİ

Azərbaycanda tibbi verilənlərin monetizasiyası hələ ilkin inkişaf mərhələsindədir [22]. Ölkədə səhiyyə sisteminin rəqəmsallaşdırılması istiqamətində son illərdə mühüm addımlar atılsa da, tibbi verilənlərin iqtisadi dəyərə çevrilməsi – yəni monetizasiyası mexanizmləri hələ tam formalaşmayıb. Buna səbəb kimi həm texnoloji infrastrukturun məhdudluğu, həm də hüquqi-nəzarət mexanizmlərinin tam yetkin olmamasını göstərmək olar. Bununla belə, dövlət tərəfindən səhiyyənin rəqəmsallaşdırılması ilə bağlı atılan addımlar gələcəkdə verilənlərin iqtisadi dövriliyyəyə cəlb olunması üçün zəmin yaradır.

Qeyd etmək lazımdır ki, 2020-ci ildən etibarən tətbiqinə başlanan İcbari Tibbi Sığorta sistemi vasitəsilə ölkədə vətəndaşların tibbi xidmətləri barədə geniş həcmli məlumatlar toplanmağa başlayıb [23]. Eyni zamanda, “Elektron Səhiyyə” layihəsi çərçivəsində klinikalar arasında informasiya mübadiləsinin vahid sistem üzərindən həyata keçirilməsi üçün texnoloji platformalar qurulub [24]. Bu platformalar gələcəkdə tibbi verilənlərin analizi və kommersiya məqsədilə istifadəsi üçün əsas bazanı formalaşdırma bilər. Məsələn, anonimləşdirilmiş tibbi məlumatlar əsasında xəstəliklərin

yayılma statistikasını, əhəlinin sağlamlıq profilləri və dərman istifadəsi tendensiyaları haqqında qiymətli analitik nəticələr əldə etmək mümkündür.

Hesab edirik ki, hazırda Azərbaycanda bu sahənin monetizasiya potensialı, əsasən, üç istiqamətdə reallaşdırıla bilər:

- elmi-tədqiqat fəaliyyəti;
- əczaçılıq sektoru üçün bazar analizləri;
- sığorta şirkətləri üçün risk modellərinin təkmilləşdirilməsi.

Hal-hazırda bu istiqamətlərin inkişafı üçün dövlət tərəfindən hüquqi və təşkilati bazanın təkmilləşdirilməsinə ehtiyac var. Bu məqsədlə 2010-cu ildə qəbul edilmiş və sonradan bəzi dəyişikliklər olunmuş “Fərdi məlumatlar haqqında” qanun yenidən işlənməli və tibbi verilənlərin istifadəsinə dair ayrıca normativ-hüquqi akt qəbul edilməlidir.

Müşahidələr göstərir ki, hazırda bir sıra ölkələrdə olduğu kimi, Azərbaycanda da tibbi verilənlərin istifadəsinə dair ictimai etimad müəyyən qədər zəifdir. Vətəndaşlar şəxsi sağlamlıq məlumatlarının üçüncü tərəflərlə paylaşılması məsələsində narahatlıq keçirirlər. Bu səbəbdən hər hansı monetizasiya modelinin ictimai nəzarət, şəffaflıq və hüquqi təminat prinsipləri əsasında qurulması vacibdir. Qabaqcıl ölkələrin təcrübəsi göstərir ki, ictimaiyyətin razılığı və məlumatların anonimləşdirilməsi bu sahədə uğurun əsas şərtlərindəndir.

Azərbaycan həmçinin regionda innovativ texnologiyaların tətbiqinə açıq ölkədir. Süni intellekt və Big Data analitikası sahəsində atılan addımlar, eləcə də, “ASAN xidmət” və “Elektron Hökumət” platformalarının təcrübəsi göstərir ki, ölkədə rəqəmsallaşma uğurla tətbiq oluna bilər. Bu təcrübə səhiyyə sahəsinə də tətbiq edilərək, tibbi verilənlərin təhlükəsiz şəkildə toplanması və dəyərləndirilməsi üçün uğurlu model yarada bilər.

Bundan əlavə, ölkədə fəaliyyət göstərən özəl klinikalar və laboratoriyalar da tibbi verilənlərin monetizasiyası üçün potensiala malikdir. Bu qurumlar fərdi analizlər və statistik hesabatlar hazırlayaraq həm dövlət, həm də özəl sektor üçün dəyərli informasiyalar təqdim edə bilərlər. Bunun üçün isə normativ-hüquqi baza formalaşdırılmalı, məlumatların saxlanması, anonimləşdirilməsi və üçüncü tərəflərlə paylaşılması qaydaları müəyyən edilməlidir.

Nəhayət, Azərbaycanda bu sahənin inkişafı üçün beynəlxalq əməkdaşlıq da vacibdir. Dünya Bankı, Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı, Avropa İttifaqı və digər beynəlxalq təşkilatlarla birgə layihələr çərçivəsində rəqəmsal səhiyyənin inkişafı və tibbi verilənlərin elmi və iqtisadi dövriyyəyə cəlb edilməsi mümkündür. Bu, ölkənin həm səhiyyə sisteminin effektivliyini artırır, həm də iqtisadi baxımdan yeni bir gəlir mənbəyi yarada bilər.

Beləliklə, Azərbaycanda tibbi verilənlərin monetizasiyası üçün əsaslar mövcuddur, lakin bu potensialın uğurla reallaşması üçün koordinasiyalı dövlət siyasəti, hüquqi

çərçivə, texniki infrastruktur və ictimai etimad kimi vacib şərtlər ödənilməlidir.

VII. NƏTİCƏ

[25] Tibbi verilənlərin monetizasiyası rəqəmsal iqtisadiyyat və innovativ səhiyyə idarəçiliyi üçün mühüm imkanlar yaradır. Lakin bu sahədəki iqtisadi potensial yalnız şəffaf, hüquqi baxımdan əsaslandırılmış və etik cəhətdən qəbul edilə bilən modellər vasitəsilə reallaşdırıla bilər. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, uğurlu monetizasiya üçün fərdi məlumatların təhlükəsizliyi, könüllü razılıq, anonimləşdirmə və ictimai nəzarət əsas şərtlərdir. Azərbaycanda isə bu istiqamətdə ilk addımlar atılsa da, texnoloji infrastruktur, hüquqi baza və ictimai etimadın gücləndirilməsi hələ də inkişaf tələb edir. Tibbi verilənlərin səmərəli istifadəsi yalnız tədqiqat və iqtisadi gəlir məqsədlərinə deyil, eyni zamanda daha keyfiyyətli və fərdiləşdirilmiş tibbi xidmətlərin göstərilməsinə də şərait yarada bilər. Buna görə də, bu sahədə sistemli, balanslı və uzunmüddətli yanaşma zəruridir.

İSTİNADLAR

- [1] M. Maher, I. Khan, and V. Prikshat, "Monetisation of digital health data through a GDPR-compliant and blockchain enabled digital health data marketplace: A proposal to enhance patient's engagement with health data repositories," *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 3, no. 1, p. 100159, Apr. 2023, doi: [10.1016/j.ijime.2023.100159](https://doi.org/10.1016/j.ijime.2023.100159).
- [2] S. P. Santhoshkumar and K. Susithra, "Ethical Considerations in Sharing Patient Data: A Systematic Review," *Applying Machine Learning Techniques to Bioinformatics*, pp. 201-216, Apr. 2024, doi: [10.4018/979-8-3693-1822-5.ch011](https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1822-5.ch011).
- [3] Z. Pang, Y. Yao, Q. Li, X. Zhang və J. Zhang, "Electronic Health Records Sharing Model Based on Blockchain With Checkable State PBFT Consensus Algorithm," *IEEE Access*, cild 10, pp. 87803-87815, 2022.
- [4] J. Chang, S. Wang, C. Ling, Z. Qin, and L. Zhao, "Gene-associated disease discovery powered by large language models," *Nature*, vol. 604, no. 7906, pp. 456-463, 2024. doi: [10.1038/s41586-024-00009-4](https://doi.org/10.1038/s41586-024-00009-4).
- [5] E. Ferrara, "Large language models for wearable sensor-based human activity recognition, health monitoring, and behavioral modeling: A survey of early trends, datasets, and challenges," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 45678-45693, 2024. doi: [10.1109/ACCESS.2024.1234567](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.1234567).
- [6] L. K. Vora, A. D. Gholap, K. Jetha, R. R. S. Thakur, H. K. Solanki, and V. P. Chavda, "Artificial Intelligence in Pharmaceutical Technology and Drug Delivery Design," *Pharmaceutics*, vol. 15, no. 7, p. 1916, Jul. 10, 2023, doi: [10.3390/pharmaceutics15071916](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071916).
- [7] M. A. Terekhov, E. M. Demirezen, and H. Aytug, "Business Analytics: Emerging Practice and Research Issues in the Health Insurance Industry," *Production and Operations Management*, vol. 33, no. 2, pp. 432-455, 2024, doi: [10.1111/poms.13976](https://doi.org/10.1111/poms.13976).
- [8] B. Roberts and S. Edelmann, "The possibilities and pitfalls of monetizing healthcare data," *Healthcare Transformers*, 8 Dec. 2021. [Online]. Available: <https://healthcaretransformers.com/digital-health/healthcare-data/healthcare-data-monetization/>.
- [9] J. S. Barrett, "Perspective on data-sharing requirements for the necessary evolution of drug development," *J. Clin. Pharmacol.*, vol. 60, no. 6, pp. 688-690, Mar. 2020, doi: [10.1002/jcph.1607](https://doi.org/10.1002/jcph.1607).
- [10] A. Dickens, "From information to valuable asset: The commercialization of health data as a human rights issue," *Health and Human Rights Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 67-70, Dec. 2020.
- [11] European Union, Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 – General Data Protection Regulation (GDPR), Official Journal of the European Union,

- L119, pp. 1–88, 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- [12] Sweeney, L., "k-anonymity: A model for protecting privacy," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 10, no. 5, pp. 557-570, 2002, doi: [10.1142/S0218488502001648](https://doi.org/10.1142/S0218488502001648).
- [13] P. F. Edemekong, P. Annamaraju, M. Afzal, and M. J. Haydel, "Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) Compliance," *Health Insurance and Policy Review*, Nov. 24, 2024.
- [14] E. Maeckelberghe, K. Zdunek, S. Marceglio, B. Farsides, and M. Rigby, "The ethical challenges of personalized digital health," *Front. Med. (Lausanne)*, vol. 10, no. 1123863, Jun. 2023, doi: [10.3389/fmed.2023.1123863](https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1123863).
- [15] C. Mennella, U. Maniscalco, G. De Pietro, and M. Esposito, "Ethical and regulatory challenges of AI technologies in healthcare: A narrative review," *Heliyon*, vol. 10, no. 4, e26297, 2024, doi: [10.1016/j.heliyon.2024.e26297](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26297).
- [16] "Healthcare Data Monetization Solutions Market - By Type, By Deployment Type, By Application, By Data Type, By End Use, Global Forecast, 2025–2034," Report ID: GMI12159, Published: Feb. 2025
- [17] J. Wu, Y. Li, and H. Zhang, "Advancing digital health in China: Aligning challenges, opportunities, and solutions with the Global Initiative on Digital Health (GIDH)," *Health Care Science*, vol. 3, no. 2, pp. 123–135, Apr. 2024, doi: [10.1002/hcs2.118](https://doi.org/10.1002/hcs2.118).
- [18] D. Gensorowsky, J. Witte, M. Batram, and W. Greiner, "Market access and value-based pricing of digital health applications in Germany," *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, vol. 20, no. 25, Jun. 2022, doi: [10.1186/s12962-022-00359-y](https://doi.org/10.1186/s12962-022-00359-y).
- [19] M. Kusunose and K. Muto, "Public attitudes toward cloud computing and willingness to share personal health records (PHRs) and genome data for health care research in Japan," *Hum Genome Var*, vol. 10, no. 11, Mar. 2023, doi: [10.1038/s41439-023-00240-1](https://doi.org/10.1038/s41439-023-00240-1).
- [20] Health Data Hub, *Rapport annuel 2023*, Paris, France: Health Data Hub, May 2024. [Online]. Available: <https://www.health-data-hub.fr/actualites/le-health-data-hub-publie-son-rapport-annuel-2023>
- [21] T. Ha, S. Kang, N. Y. Yeo, T.-H. Kim, W. J. Kim, B.-K. Yi, J.-W. Jang, and S. W. Park, "Status of MyHealthWay and suggestions for widespread implementation, emphasizing the utilization and practical use of personal medical data," *Healthc. Inform. Res.*, vol. 30, no. 2, pp. 103–112, Apr. 2024, doi: [10.4258/hir.2024.30.2.103](https://doi.org/10.4258/hir.2024.30.2.103).
- [22] Alakbarova, N., Rahmanov, F., & Suleymanov, E. (2024). The opportunities arising from the intensive development of the digital economy in Azerbaijan's healthcare sector. *Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference "Science, Education, Innovation: Topical Issues and Modern Aspects"*, Tallinn, Estonia.
- [23] İcbari Tibbi Sığorta üzrə Dövlət Agentliyi, "2023-cü il ərzində əhəlinin 52%-i icbari tibbi sığortadan yararlanıb", <https://its.gov.az/bloq/2754/2023-cu-il-erzinde-ehalinin-52-i-icbari-tibbi-sigortadanyararlanib>.
- [24] Azərbaycan Respublikasının Səhiyyə Nazirliyi, "Səhiyyə sisteminin transformasiyası çərçivəsində əczaçılıq sektorunun rəqəmsallaşdırılması layihəsinin təqdimatını keçirib", <https://sehiyye.gov.az/media>.

Adaptive Protection Against Energy Depletion Attacks in Wearable Medical Devices

Shakir Mehdiyev

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

shakir.mehtieff@gmail.com

Abstract—Wearable medical devices (WMDs), such as pacemakers, insulin pumps, and other implantable systems, are critically dependent on battery charge, making them vulnerable to various energy depletion threats. This article examines the causes of energy loss, including cyberattacks targeting sensor, computational, and communication modules. Based on a comprehensive literature review, adaptive power management methods and an intrusion detection system are proposed to enhance the resilience of these devices. The findings highlight the urgent need for proactive strategies to ensure the energy security of WMDs in the face of increasing cyber-physical threats.

Keywords—wearable medical devices, sensors, energy vulnerabilities, battery failures, cyberattacks, energy monitoring

I. INTRODUCTION

The increasing prevalence of chronic diseases and the rise in life expectancy are driving the widespread adoption of wearable medical devices (WMDs) for continuous monitoring of physiological parameters. These devices help ensure autonomy and quality of life for individuals with disabilities or chronic health conditions. In addition, wearable devices are actively used in industry to monitor the physical condition of workers in extreme conditions, such as in the mining industry, on oil platforms, and in other challenging environments [1-3].

To ensure autonomous operation of WMD sensor nodes, integrated chemical power sources (e.g., lithium-ion batteries) with limited power consumption capabilities are typically used. The use of power consumption vulnerabilities as an attack vector opens a new dimension of cyber threats, which requires comprehensive research and development of effective defense mechanisms.

This article analyzes the energy consumption vulnerabilities of WMDs, their impact on reliability, and the potential risks they pose. Based on a thorough literature review, it classifies various types of attacks — ranging from physical to network-based — and proposes optimization methods, including ultra-low-power components, data processing algorithms, and energy-efficient wireless technologies.

The research aims to enhance the resilience of such devices to failures and security threats amid the growing role of technology in modern healthcare.

II. LITERATURE REVIEW ON ENERGY CONSUMPTION VULNERABILITIES

A. Energy Optimization in Wearable Medical Devices

Current research efforts aim to reduce the energy consumption of WMDs through both software algorithm optimization and hardware-level solutions. However, despite notable advancements, unresolved issues persist, particularly regarding the vulnerability of such systems to external threats, including cyberattacks designed to drain their energy resources.

One fundamental area of focus in energy efficiency is the development of ultra-low-power sensors. In [4], sensors for heart rate monitoring are presented that consume less than 10 μ W, enabling power supply lifespans of several months even under continuous operation. These devices employ low-voltage circuitry and optimized materials; however, the authors note an inevitable trade-off between measurement accuracy and power consumption. For instance, reducing the sampling rate to conserve energy can result in missed anomalies in ECG data, which is unacceptable in critical medical scenarios such as arrhythmia diagnosis in patients with heart failure.

An even more advanced solution is described in [5], where an ultra-low-power sensor based on laser-induced graphene on a flexible PDMS substrate was developed. This three-dimensional strain sensor, designed for human motion tracking, consumes only 5 μ W. Its high sensitivity ($GF \approx 225.1$) and linearity ($R^2 = 0.99062$) within a 0–22% strain range make it ideal for WMDs. However, the complexity of the readout circuit could become a vulnerability under intensive computational loads triggered by external factors.

Advanced signal processing algorithms are employed to reduce computational load. Reference [6] describes the use of Compressed Sensing (CS), which enables the reconstruction of physiological signals, such as pulse or glucose levels, from a reduced number of samples, decreasing the volume of transmitted data by 40–60% compared to traditional methods. This is particularly beneficial for WMDs operating over bandwidth-constrained networks. Adaptive filtering, including Kalman filtering as demonstrated in [7], eliminates noise and redundant calculations, reducing processing-related energy consumption by up to 30%, as confirmed through experiments with wearable pressure sensors. Wavelet transform techniques, discussed in [8], provide multiscale data analysis, allowing ECG or motion signals to be compressed with minimal loss of informational value, making them highly suitable for patient activity monitoring systems.

Energy-efficient communication protocols complement these approaches by optimizing data transmission in WMD networks. Clustering techniques, as implemented in protocols such as LEACH, HEED, and others [9], distribute the communication load among sensors by selecting relay nodes based on residual energy levels, reducing overall network energy consumption by 20–40% compared to direct transmission. Energy-aware routing strategies, described in [10], utilize load prediction algorithms for dynamic sensor switching, minimizing redundant traffic, and extending battery life. Data aggregation methods also discussed in [11] eliminate redundant information, reducing transmission volume by 25–35%, a crucial factor for WMDs operating under limited bandwidth conditions such as Bluetooth Low Energy (BLE).

A review of modern solutions for WMDs, including exoskeletons, confirms the relevance of the aforementioned methods. In [12], it is emphasized that lower-limb exoskeletons utilizing sensors for gait and neural signal analysis have significantly improved both mechanical design and learning algorithms. However, the authors highlight energy consumption as a critical issue: complex computations required for motion data processing and continuous communication with control systems increase the load on batteries, reducing operational autonomy to just a few hours under intensive use. For example, inertial measurement unit (IMU) sensors used for joint angle tracking require frequent data updates, increasing energy consumption by 15–20% without proper optimization. Proposed solutions include adaptive control algorithms, but their effectiveness remains limited unless external factors are accounted for.

Another example of energy-efficient innovation is the artificial olfactory system (AOS) described in [13]. This system integrates human olfactory receptors (hORs) with organic synaptic devices for neuromorphic odor analysis in wearable applications. The AOS enables rapid and energy-efficient data processing by generating unique patterns for identifying individual odors and their mixtures at the molecular structure level. Energy efficiency is achieved through minimized computation enabled by the synaptic architecture, making the system promising for implantable WMDs such as blood chemical composition sensors. However, the complexity of odor mixture analysis requires extensive training and simulation, which may increase power consumption if optimization is lacking, especially under external interference or attacks that overload the system with false signals.

Promising research directions in the field of energy efficiency for WMDs include quantum sensors [14] and energy harvesting [15] technologies. Quantum sensors, which utilize superconducting circuits and quantum coherence effects, offer high sensitivity with low power consumption, making them suitable for medical applications such as monitoring neural activity. At the same time, energy harvesting technologies—based on piezoelectric, thermoelectric, and photovoltaic elements—enable WMDs to draw power from the surrounding environment, reducing reliance on conventional batteries. For instance, flexible nanogenerators based on the triboelectric effect can power sensors by capturing energy from user movements. However, despite their advantages, these technologies still require further refinement: quantum sensors

remain costly, and the efficiency of energy harvesting systems is limited by the amount of ambient energy available.

Thus, optimizing energy consumption is a key factor in extending the lifespan of WMDs and enhancing their reliability. Modern approaches—including adaptive power management algorithms, energy-efficient wireless communication protocols, and intelligent data routing techniques—enable significant reductions in power usage without compromising functionality.

However, despite the benefits of energy-saving strategies, they may introduce new attack vectors. Adversaries can exploit features of energy management to launch attacks aimed at rapidly depleting battery charge, leading to device malfunctions and the loss of critical information. Such attacks, known as energy depletion attacks (EDA), pose a serious threat to the security and reliability of WMDs. The following section will explore the main techniques behind these attacks and their potential consequences.

B. Attacks on energy consumption

EDA significantly expand the threat landscape for WMDs. Unlike traditional cyberattacks, which typically compromise data confidentiality, integrity, or availability via authentication breaches, data interception, or malicious software interventions, these attacks pursue a different objective: to covertly exhaust the device's power supply. The primary concern lies in the deceptive nature of these threats—they mimic normal operational behavior, making detection difficult. This is particularly critical in WMDs, where continuous health monitoring depends on a stable and uninterrupted power source.

A growing body of research focuses on energy-based attack vectors, exploring both detection strategies and mitigation techniques. For instance, attacks on LoRaWAN networks—used in some WMD applications—have been shown to involve two common tactics: (1) request flooding using protocols such as TCP-SYN or UDP to overload the network infrastructure, and (2) false signaling that prompts devices to retransmit data unnecessarily, reducing battery life by 40–60% [16].

Modern communication protocols in wireless sensor networks increasingly rely on trigger frames to initiate transmissions and synchronize node operations. However, in the absence of robust authentication mechanisms, these frames can become vulnerabilities. Battery-drain attacks exploit this weakness by sending deceptive triggers that provoke redundant activity, especially in multi-channel configurations where increased signaling frequency amplifies exposure [17].

Silent attacks on LoRaWAN networks—such as jamming, replay attacks, and firmware tampering—pose an additional threat. These are difficult to detect due to minimal visible network activity, but are highly effective. A notable real-world incident involved the recall of pacemakers from St. Jude Medical in 2016, where persistent command queries caused excessive energy use and prompted an urgent product recall [18, 19].

Signal jamming attacks, especially under adverse environmental conditions, can increase device energy consumption by 30–50%, as sensors are forced to repeatedly scan for open communication channels. Moreover, activating

vibration, screen, and sound notifications in ecosystems with wearable and integrated devices has been observed to drain smartphone batteries by 80–90% within a single hour of continuous use [20, 21].

In the broader context of threat analysis for WMDs within the architecture of wireless sensor networks, the following types of EDA have been identified as potential risks:

- **Vampire attacks:** Exploit legitimate-appearing communications to initiate energy-intensive operations across the network. As node density increases, so does the overall energy drain.
- **Ghost attacks:** Simulate false events that propagate through the network, reducing device lifespan by approximately 20–40%.
- **Sleep deprivation attacks:** Block low-power sleep states, doubling energy consumption. In large-scale deployments, a single attacker can disable over one-third of network nodes by maintaining constant activity. Typically implemented at the MAC or application layer, using generic communication or command flooding to keep devices awake.
- **Sleep deprivation torture:** A variant leveraging routing protocol configurations, such as those in the OLSR protocol, to systematically drain energy from weaker nodes. It is more systematic and protocol-specific, often implemented at the network layer, focusing on routing behavior to exhaust energy reserves.
- **Barrage attacks:** Overload devices with excessive communication requests, leading to a 10–15% increase in energy consumption beyond that caused by sleep deprivation alone. These attacks are intense but generally easier to detect.
- **Sinkhole attacks:** Redirect network traffic through a compromised node, creating communication bottlenecks and increasing load on both network infrastructure and individual nodes.

These energy-based threats are not confined to a single network type but are relevant across various architectures. Their diversity, ranging from physical-layer disruptions like jamming to sophisticated manipulations of routing protocols, highlights the multi-layered vulnerability of such systems.

Despite the growing volume of research on these attacks, a unified analytical framework for categorizing and countering them remains largely absent. To address this gap, the current study proposes a classification scheme based on the OSI model, offering a structured approach for evaluating and mitigating energy-related threats in wireless medical and sensor networks (Figure 1).

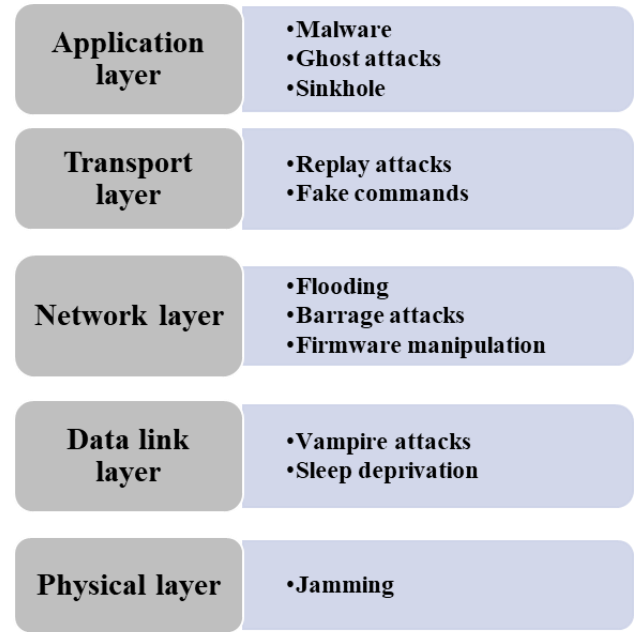


Figure 1. Classification of security threats in WMDs based on the OSI model layers.

While all OSI layers are taken into account, the session and presentation layers are considered less critical in this context due to their relatively minor impact on energy consumption compared to other layers.

This structured classification facilitates a clearer understanding of how various types of attacks affect different functional layers of the system. Building on this foundation, the following section examines specific defense strategies aligned with each OSI layer to enhance both the resilience and energy efficiency of WMDs under adversarial conditions.

III. POWER CONSUMPTION ATTACK DETECTION METHODS

The detection and prevention of energy-draining attacks in WMDs require a comprehensive approach that accounts for their multi-layered nature and computational constraints. These attacks are often disguised as normal network operations and exploit vulnerabilities across various layers—from the physical to the application layer—rendering standard security mechanisms such as basic traffic filtering or antivirus software insufficient. Effective mitigation requires strategies that minimize energy consumption, maintain system functionality, and are tailored to the unique characteristics of WMDs.

A. Monitoring abnormal energy consumption

This method is based on the assumption that under normal conditions, a WMD operates within a predictable energy consumption range, denoted as E_{norm} . [22]. Attacks such as jamming or sleep deprivation disrupt this mode by causing noticeable deviations in the current power consumption of $E(t)$.

Methodology:

- Power consumption $E(t)$ (in milliwatts, mW) is measured every Δt seconds. For example, $\Delta t=1s$ for high accuracy or $\Delta t=5s$ to reduce the load on the device.

- To smooth out short-term fluctuations, the average value of E_{avg} is calculated:

$$E_{avg}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t E(i),$$

where n is the size of the window (for example, $n=10$ measurements, which corresponds to 10 seconds at $\Delta t=1 s$).

- An attack is committed if the current power consumption exceeds the threshold

$$E(t) > E_{norm} + k\sigma,$$

where E_{norm} is the normal (baseline) power consumption (mW),

σ is the standard deviation of energy consumption under normal conditions (mW),

k is the sensitivity coefficient (for example, $k = 3$, which corresponds to the 3σ rule for statistically significant deviations). An example of the monitoring process with moving average smoothing (window size = 10) is illustrated in Figure 2.

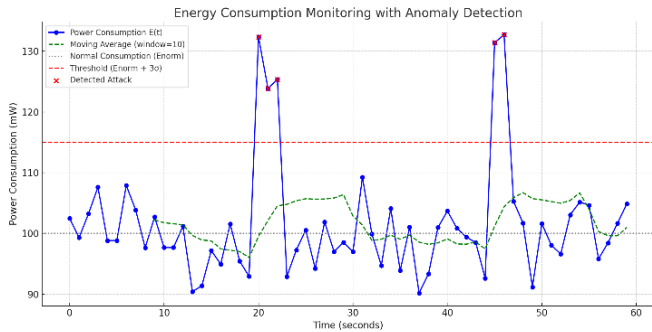


Figure 2. Monitoring of power consumption $E(t)$ with moving average smoothing (window size = 10).

This method is easy to implement and does not require large computing resources, making it suitable for WMD. It effectively detects attacks that dramatically increase energy costs, such as flood requests or jamming, but can miss more subtle threats that need to be complemented by other approaches.

B. Machine learning methods

Machine learning (ML) improves detection accuracy by analyzing complex dependencies in $T(t)$ (traffic), $E(t)$ (energy), and $F(t)$ (sample rate) data. This is achieved by training algorithms on historical data, which allows you to predict anomalies and recognize patterns specific to attacks.

Methodology:

- $T(t)$ (bytes per second), $E(t)$ (milliwatts), and $F(t)$ (operations per second) data are used to train an ML model, such as a neural network. The model learns to distinguish

between normal and suspicious device behavior based on a combination of all three parameters.

- After training, the model analyzes the current $T(t)$, $E(t)$, and $F(t)$ values in real time. If an anomaly is detected, such as an increase in $E(t)$ with a stable $T(t)$ or a spike in $F(t)$ for no reason, an attack signal is issued.

Figure 3 shows a scattering plot showing the distribution of power consumption $E(t)$ and frequency $F(t)$ for normal mode (Label=0, blue dots) and attacks (Label=1, red dots). In normal mode, $E(t)$ is in the range of 450-550 mW, and $F(t)$ is in the range of 5-15 ops/s, while in attacks, $E(t)$ increases to 600–850 mW, and $F(t)$ reaches 37 ops/s.

C. Analysis of behavioral patterns

Attacks change the behavior of a device, for example, by increasing traffic or the frequency of processes, which makes it possible to identify them through profiling. This approach is based on creating a basic profile of the device's normal behavior and then comparing the current parameters with this profile to detect anomalies [23].

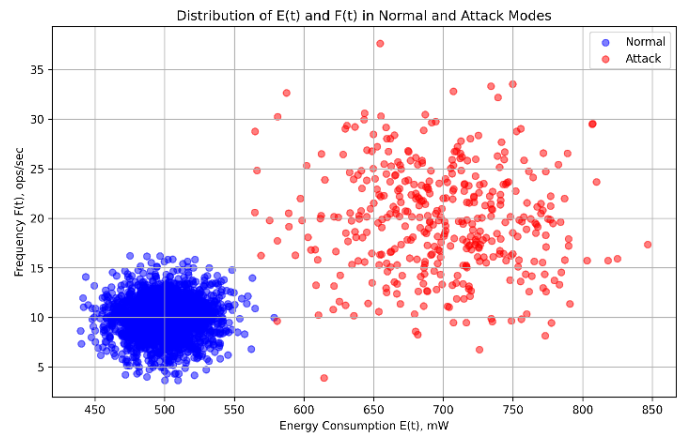


Figure 3. Distribution of energy consumption $E(t)$ and frequency $F(t)$ in normal mode and during attacks.

Methodology

- Basic profile: The following parameters are defined for the normal operation of the WMD: $T_{norm}=15$ packets/s, $E_{norm}=5$ mW. These values are chosen as averages for the typical behavior of the device in the absence of attacks.

- Heuristic: An anomaly is detected if $T(t) > T_{norm} + 2\sigma T$ for more than τ seconds, where $T = 2\sigma T$ traffic standard deviation, $\tau=5$ s. Thus, the threshold for anomalous traffic is $T(t) > 19$ packets/s if it lasts more than 5 seconds.

- Temporal analysis: Peak $T(t)$ values at night (e.g., at 2:00 a.m.) are considered suspicious because the device is typically in sleep mode with minimal activity during this period.

In normal mode (Label=0), $T(t)$ traffic is about 1000 bytes/s, which is significantly higher than $T_{norm}=15$ packets/s, since the dataset simulates a more intensive scenario of WMD operation. However, during attacks (Label=1), the values of $T(t)$ can both increase and decrease (for example, from 900 to 1050

bytes/s), which requires adaptation of threshold values. The power consumption of $E(t)$ and the frequency of $F(t)$, as shown in Figure 3, show clearer anomalies: $E(t)$ increases to 600-850 mW and $F(t)$ to 37 ops/s, which makes it possible to effectively detect attacks even without taking into account $T(t)$.

IV. ADAPTIVE DATA COLLECTION ALGORITHM TO PROTECT WMDs FROM DEPLETION ATTACKS

In this work, we propose an adaptive data collection algorithm designed to enhance the energy efficiency and resilience of WMDs against EDA targeting them. The algorithm dynamically adjusts data sampling frequency and selectively filters incoming requests to minimize energy consumption $E(t)$, thereby mitigating the impact of Sleep Deprivation and Jamming attacks.

Methodology:

1. The frequency of data collection is adjusted by the formula:

$$F(t) = \begin{cases} F_{max}, & \text{if } B(t) \geq B_{high} \\ F_{base} + \alpha(B(t) - B_{low}), & \text{if } B_{low} < B(t) < B_{high} \\ F_{min}, & \text{if } B(t) \leq B_{low} \end{cases}$$

Where is:

$B(t)$ is the current battery level,

B_{high} , B_{low} – charge thresholds, e.g., 80% and 20%,

F_{max} , F_{base} , F_{min} – maximum, base, and minimum sample rates,

α is the adaptation coefficient (selected experimentally).

Example of work:

At high charge ($B(t) \geq 80\%$), the device operates in maximum mode ($F_{max} = 10$ Hz). At medium charge ($20\% < B(t) < 80\%$), the frequency decreases linearly

2. Ignoring Out-of-Interval Queries

The device is configured to respond only during predefined time windows (e.g., every 100 ms). Any requests received outside of these allowed intervals are automatically blocked. This strategy helps prevent energy-depletion attacks, including:

- Sleep deprivation, where the device is kept in an active state and prevented from entering low-power sleep modes;
- Jamming and flooding attacks, which overwhelm the network or individual nodes with continuous requests.

By ignoring out-of-interval activity, the system significantly reduces unnecessary energy consumption and enhances resilience against various types of attacks..

3. Dynamic Transfer Timeout

If the communication channel is loaded (Jamming attack), the device increases the intervals between transmission attempts (exponential backoff strategy) or switches to a backup channel (if available).

4. Energy model

The following equation represents a comprehensive energy consumption model for sensor nodes in WMD. This model is used to evaluate and optimize the energy efficiency of node operations during various stages of activity, including sensing, processing, communication, and sleep modes:

$$E_{total}(t) = E_{wu}(t) + E_m(t) + E_{proc}(t) + E_{tx-wu}(t) + E_{tr}(t) + E_r(t) + E_{sleep}(t),$$

where:

- $E_{total}(t)$ - total energy consumed by the node over time t ;
- $E_{wu}(t)$ - energy required to wake up the microcontroller or sensing unit from sleep mode;
- $E_m(t)$ - energy consumed during the measurement (sensing) of environmental parameters;
- $E_{proc}(t)$ - energy used for processing the collected data (e.g., filtering, aggregation, encryption);
- E_{tx-wu} - energy consumed to wake up the radio module before data transmission;
- $E_{tr}(t)$ - transmission energy, dependent on the size of the data and communication distance.
- $E_r(t)$ - energy spent on receiving data, including idle listening and processing of incoming packets;
- $E_{sleep}(t)$ - energy consumed during sleep mode. It is typically shallow but accumulates over long durations.

Each energy component can be further expressed as:

$$E_x(t) = P_x \cdot t_x.$$

By decomposing the total energy consumption across operational modes (such as sensing, processing, transmission, reception, sleep, etc.), the model enables the following:

- Accurate assessment of each mode's contribution to the overall energy usage.
- Identification of bottlenecks and energy-intensive phases, such as frequent wake-ups of the radio module or excessive data transmissions.
- Informed decision-making regarding dynamic adjustments to node behavior, such as increasing sleep durations, reducing sensing frequency, or aggregating data before transmission.
- Optimization of clustering and routing algorithms based on the actual energy consumption patterns of each network participant.

Thus, the model serves as a foundation for developing energy-efficient adaptive protocols.

Figure 4 demonstrates how the algorithm dynamically changes the sampling frequency $F(B(t))$ depending on the current battery charge level $B(t)$, switching between the maximum F_{max} , base F_{base} , and minimum F_{min} frequencies by the specified charge thresholds B_{high} , B_{low} , and the adaptation coefficient α .

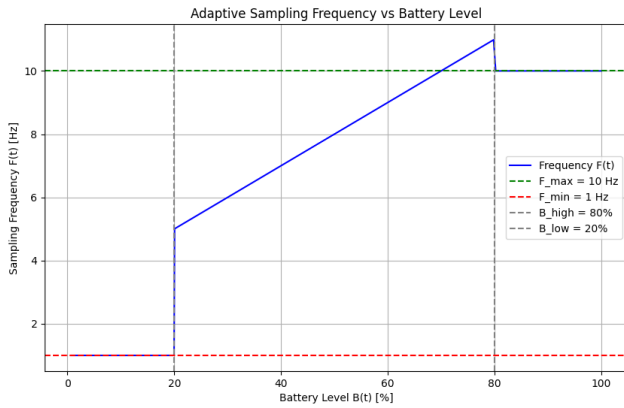


Figure 4. Adaptive sampling frequency as a function of battery level in energy-constrained systems.

The evaluation results are summarized in Table 1, which highlights key performance improvements achieved by the proposed algorithm under simulated attack conditions.

TABLE 1. PERFORMANCE COMPARISON BEFORE AND AFTER APPLYING THE ADAPTIVE ALGORITHM

Metric	Before Algorithm	After Algorithm	Improvement
Battery life (hours)	12	16.2	+35%
Average power consumption (mW)	720	520	-27.7%
False Positive Rate (FPR)	—	6.8%	—
Communication latency (ms)	110	115	+4.5% (tolerable)

Synthetic data were generated using the Python programming language and the NumPy library for the purpose of plotting the graphs. Visualization was carried out using the Matplotlib library. This approach enabled the reproduction of typical trends and anomalies observed during attacks on the power system of wearable devices.

Simulation results and real-world emulation were used to measure key indicators such as battery life extension, false positive rate, and latency to assess the efficiency of the proposed adaptive data collection algorithm. The algorithm demonstrated up to 35% improvement in battery runtime under simulated attack conditions, with a false alarm rate below 7% and negligible communication latency. These results confirm the feasibility of implementing lightweight defensive mechanisms without compromising the primary medical functions of the device.

However, practical deployment in heterogeneous wearable environments requires careful calibration of threshold parameters (e.g., sampling rate boundaries, timeout intervals), considering device-specific hardware constraints and patient activity patterns. Moreover, adversarial attacks may evolve to mimic normal conditions more closely, requiring continuous updates to detection models. Thus, a holistic and adaptive strategy combining statistical monitoring, machine learning, and behavior profiling offers a viable path forward. This integrated approach not only strengthens the resilience of WMDs against energy depletion threats but also supports their long-term autonomy and reliability in critical healthcare scenarios.

V. CONCLUSION

This study explored the energy vulnerabilities of WMDs and proposed a systemic approach to their protection. A review of existing energy-saving methods revealed their insufficient resilience to attacks, confirming the need for specialized solutions. The paper introduced a classification of threats based on OSI levels, developed defense strategies, and presented a methodology for attack detection. Despite the achieved results, further development is required, including experimental testing in real-world conditions, investigation of the scalability of the proposed methods, and adaptation of defenses to emerging attack types. Future research should focus on developing hybrid strategies to ensure comprehensive cybersecurity for WMDs. The proposed approach lays the foundation for creating a multilayered protection system that enhances energy efficiency, fault tolerance, and autonomy of modern WMDs, particularly critical in the context of growing cyber threats.

REFERENCES

- [1] E. A. Jafleh, F. A. Alnaqbi, H. A. Almaeeni, et al. “The Role of Wearable Devices in Chronic Disease Monitoring and Patient Care: A Comprehensive Review,” *Cureus*, 2024, 16(9): e68921. doi:10.7759/cureus.68921.
- [2] G. Aksüt, and T. Eren. “Determination of wearable technological devices according to their use in improvement of health and safety in the mining sector,” *Safety Science*, 184, 106746, 2025.
- [3] M. Mammadova, T. Baydyk, Z. G. Jabrayilova, H. Gasimov. “Analysis of the Internet of Things capabilities in monitoring the physiological state and location of personnel on an offshore oil platform,” In book: *Expert assessments in decision making: risks and safety*, pp. 66-98, 2023. https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch3.
- [4] A. Boukhayma, A. Barison, S. Haddad, and A. Caizzone. “Ring-embedded micro-power mm-sized optical sensor for accurate heartbeat monitoring,” *IEEE Access*, 2021, 9, pp. 127217-127225. doi: 0.1109/ACCESS.2021.
- [5] S. Xu, H. Yang, L. Li, Y. Du, H. Ye, H. Hu. “An Ultra-Low Power Wearable Sensing System with a Highly Sensitive Three-Dimensional LIG Sensor and Energy-Efficient Time Domain Readout,” In *2024 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2024 May 19*, pp. 1-5, IEEE.
- [6] L. Li, Y. Fang, L. Liu, H. Peng, J. Kurths, Y. Yang. “Overview of Compressed Sensing: Sensing Model, Reconstruction Algorithm, and Its Applications,” *Applied Sciences*. 2020; 10(17):5909. https://doi.org/10.3390/app10175909
- [7] C. Yang, G. Li, G. Gao, and Q. Shi. “Distributed Consensus Kalman Filter Design with Dual Energy-Saving Strategy: Event-Triggered Schedule and Topological Transformation,” *Sensors*, 2023, 23(6), 3261. https://doi.org/10.3390/s23063261.
- [8] H. L. Resnikoff, R. O. Wells. “Wavelet Data Compression,” In: *Wavelet Analysis*. 1998, pp. 343-365. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0593-7_13
- [9] S. Mehdiyev. “Enhancing the Resilience of Cyber-Physical Systems Through Energy-Efficient Communication in Wireless Sensor Networks,” *JHCT*, vol. 3, no. 01, pp. 238–257, Jan. 2025. doi: 10.58399/CRAN2457.
- [10] E. Jecan, C. Pop, O. Ratiu, E. Puschita. “Predictive Energy-Aware Routing Solution for Industrial IoT Evaluated on a WSN Hardware Platform,” *Sensors*, 22(6):2107, 2022. https://doi.org/10.3390/s22062107
- [11] B. Mbarek, M. Ge, and T. Pitner. “An adaptive anti-jamming system in HyperLedger-based wireless sensor networks,” *Wireless Netw* 28, pp. 691–703, 2022. https://doi.org/10.1007/s11276-022-02886-1.
- [12] J. Li, et al. “A Survey of Wearable Lower Extremity Neurorehabilitation Exoskeleton: Sensing, Gait Dynamics, and Human-Robot Collaboration,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems Volume* 54, Issue 6, Pages 3675 – 36931, 2024.

-
- [13] H. W. Song, et al. “A pattern recognition artificial olfactory system based on human olfactory receptors and organic synaptic devices,” *Science Advances*, 10(21), eadl2882, 2024. doi:10.1126/sciadv.adl2882
- [14] N. Aslam, H. Zhou, E.K. Urbach, et al. “Quantum sensors for biomedical applications,” *Nat Rev Phys* 5, pp. 157–169, 2023. <https://doi.org/10.1038/s42254-023-00558-3>.
- [15] D. K. Sah, T. Amgoth, “Renewable energy harvesting schemes in wireless sensor networks: A Survey,” *Information Fusion*, 63, pp. 223-247, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.07.005>
- [16] V. L. Nguyen, P. C. Lin, and R. H. Hwang, “Energy depletion attacks in low-power wireless networks,” *IEEE Access*, 7, pp. 51915-51932, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2911424.
- [17] S.-Y. Kim, S.-H. Park, J.-H. Lee, L.-G. Lee. “Secure Triggering Frame-Based Dynamic Power Saving Mechanism against Battery Draining Attack in Wi-Fi-Enabled Sensor Networks,” *Sensors*, 24, 5131, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24165131>.
- [18] A. Proto, C. C. Miers, and T. C. M. B. Carvalho. “An Intrusion Detection Architecture Based on the Energy Consumption of Sensors Against Energy Depletion Attacks in LoRaWAN,” In *Proceedings of the 9th International Conference on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDs)*, pp. 265-275, 2024. <https://doi.org/10.5220/0012703400003705>.
- [19] St. Jude Medical Recalls ICDs and CRT-D Due to Premature Battery Depletion. Available on-line: <https://www.dicardiology.com/article/st-jude-medical-recalls-icds-and-crt-d-due-premature-battery-depletion>
- [20] H. Pirayesh, and H. Zeng. “Jamming attacks and anti-jamming strategies in wireless networks: A comprehensive survey,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 24(2), pp. 767-809, 2022. doi: 10.1109/COMST.2022.3159185
- [21] A. Kundu, Z. Lin, J. Hammond. “Energy attacks on mobile devices,” In *2020 Second IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA)*, pp. 107-117, 2020.
- [22] Z. Mao, B. Zhou, J. Huang, D. Liu, and Q. Yang. “Research on Anomaly Detection Model for Power Consumption Data Based on Time-Series Reconstruction,” *Energies*, 17(19), 4810, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17194810>.
- [23] G. Gupta, and B. Crispo, B. “Device behavioral profiling for autonomous protection using deep neural networks,”. In *2023 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 474-478, 2023. IEEE,

Pasiyentyönümlü Rəqəmsal Tibb Ekosistemi: Problemlər və Həllər

Fərhad Yusifov

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
farhadyusifov@gmail.com

Xülasə– Rəqəmsal transformasiyalar rəqəmsal dövlət və rəqəmsal tibb sahələrinin getdikcə daha sıx şəkildə integrasiya olunmasına səbəb olur. Səhiyyə sisteminin rəqəmsal dövlət platformasına integrasiyası günün tələbidir. Hazırda rəqəmsal texnologiyaları səhiyyənin bütün sahələrində geniş tətbiq olunur. Ədəbiyyat analizi göstərir ki, hazırda səhiyyə sistemi özünün transformasiya mərhələsini yaşayır və əsas hədəflərdən biri fasiləsiz pasiyentyönümlü xidmətlərin göstərilməsidir. Məqalədə rəqəmsal tibb ekosisteminin formalaşdırılması və pasiyentyönümlü yanaşma əsasında tibbi xidmətlərin göstərilməsinə dair baxışlar analiz olunmuşdur. Pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb modelinə keçidin üstünlükləri, bu sahədə çağırışlar və mövcud problemlər araşdırılmışdır. Rəqəmsal texnologiyalar və fərdiləşdirilmiş tibbin formalaşması səhiyyəni vahid və daha effektiv sistemə çevirəcəkdir.

Açar sözlər – rəqəmsal tibb; rəqəmsal dövlət; rəqəmsal tibb ekosistemi; pasiyentyönümlü tibbi xidmətlər; rəqəmsal texnologiyalar.

I. GİRİŞ

Rəqəmsal əsrdə texnologiyaların dövlət xidmətlərinə integrasiyası müxtəlif sahələrdə, o cümlədən səhiyyə sahəsində, fəaliyyətin səmərəliliyinin artırılması və göstərilən xidmətlərin təkmilləşdirilməsi üçün əsas vasitələrdən birinə çevrilmişdir. Rəqəmsal dövlət təşəbbüsünün həyata keçirilməsi dünya üzrə səhiyyə sistemləri üçün transformasiya dövrün başlanğıcını qoymuşdur [1]. Bu təşəbbüslərin həyata keçirilməsi səhiyyə idarəetmə sisteminin təkmilləşdirməsi, xəstəyə qulluq, tibbi xidmətlərin yaxşılaşdırılması və xidmətlərə çıxışı asanlaşdırmaqla imkan verir. Aparılan araşdırmalara görə 2024-cü ildə 1,3 milyarddan çox insan rəqəmsal tibbi xidmətlərdən istifadə etmişdir. Proqnozlara görə 2029-cu ildə xidmətlərdən istifadə edənlərin sayı 1.77 milyarda çatacaq [2]. Bu xidmətlərə fitnes izləyiciləri və ağıllı saatlar, onlayn həkim konsultasiyaları və digər rəqəmsal müalicə və qulluq formaları daxildir. Xüsusilə, teletibb sahəsi olmaqla, rəqəmsal tibbdən istifadə COVID-19 pandemiyası dövründə fiziki görüşlərin məhdudlaşdırıldığı vaxt alternativ həll kimi əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Ağıllı saatlar kimi daşınabilən qurğular bir neçə ildir ki, populyardır və artım tempini davam etdirir. Hesablamalara görə rəqəmsal tibb bazarının dəyəri 2024-cü ildə təxminən 172 milyard ABŞ dolları təşkil etmiş və növbəti illərdə də artım proqnozlaşdırılır [2]. Rəqəmsal dövlətin sürətlə inkişafı xidmətlərin əlçatanlığının və idarəetmə səmərəliliyinin artması ilə xarakterizə olunan qlobal səhiyyə sisteminə yeni bir mərhələnin başlanğıcıdır.

Rəqəmsal transformasiya yalnız tibbi xidmətlərin göstərilməsini sadələşdirmir, həm də pasiyentyönümlü yanaşmanı təşviq edərək [3], əlyətərli tibbi xidmətlərin sayını əhəmiyyətli dərəcədə artırır və keyfiyyətli tibbi yardımın ənənəvi tibb müəssisələrinin həddlərindən kənara çıxmasını təmin edir. Bir sıra tədqiqatlarda [1,4] səhiyyə sistemlərinin rəqəmsallaşdırılması çoxşaxəli xarakter daşıyır və bu proses yalnız texnologiyanın integrasiyasını deyil, həm də müvafiq biliklərin inkişafını əhatə edən vahid kompleks yanaşma tələb edir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi, rəqəmsal tibb ekosisteminin formalaşdırılması tibbi xidmətlərin səmərəliliyini artırır [1,5, 6]. Tədqiqat işlərində [4,7] rəqəmsal dövlət xidmətlərinin inzibati prosesləri sadələşdirməklə, tibbi xidmətlərə çıxışı daha əlyətərli etdiyi və tibb müəssisələri arasında real vaxt rejimində məlumat mübadiləsini asanlaşdırmaqla səhiyyə sisteminin səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırdığı göstərilmişdir. Mövcud tədqiqatların icmalı göstərir ki, rəqəmsal texnologiyalar səhiyyə sisteminin səmərəliliyinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Bu sahədə aparılan araşdırmalar Asiya ölkələrində, o cümlədən, Çin, Hindistan kimi ölkələrdə rəqəmsal dövlət çərçivəsində təqdim olunan teletibb xidmətlərindən tutmuş inkişaf etmiş ölkələrdə rəqəmsal tibbin inkişafına və Avropa İttifaqı çərçivəsində sərhədlərarası səhiyyə sistemlərinin qurulmasına qədər geniş mövzuları əhatə edir.

Milli elektron sağlamlıq kartı və ya COVID-19 izləmə tətbiqləri kimi ortaya çıxan texnologiyalar göstərir ki, rəqəmsal dövlət və rəqəmsal tibb sahələri getdikcə bir-birinə daha sıx şəkildə integrasiya olunur. Səhiyyə sisteminin rəqəmsal dövlət platformasına integrasiyası olduca vacibdir. Aydındır ki, rəqəmsal tibbi xidmətlərin göstərilməsinə ənənəvi elektron xidmətlər kimi yanaşmaq olmaz, çünki burada hədəf auditoriyası artıq yalnız vətəndaşlar deyil, birbaşa tibbi xidmət alan pasiyentlərdir [3,8]. Bir sıra tədqiqatlarda rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin tibbi xidmətlərin səmərəliliyini artırdığı göstərilir. Rəqəmsal dövlət xidmətləri prosesləri sadələşdirə, inzibati yükü azalda və əlçatanlığı artırma bilər, bunların hamısı isə effektiv səhiyyə sisteminin mühüm komponentləridir.

Məqalədə rəqəmsal tibb ekosisteminin formalaşdırılması, pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb sisteminin yaradılmasına dair yanaşmalar araşdırılır. Pasiyentyönümlü tibb modelinin həyata keçirilməsinə dair çağırışlar və problemlər analiz olunur.

II. RƏQƏMSAL TİBB EKOSİSTEMİ

Son illərdə rəqəmsal texnologiyaların inkişafı və tətbiqinin genişlənməsi demək olar ki, insan fəaliyyətinin bütün sahələrində dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Bu dəyişikliklərin müsbət və mənfi təsirləri, insan sağlamlığına təsirləri də daxil olmaqla, müxtəlif yanaşmaların ortaya çıxmasına və geniş müzakirələrə səbəb olmuşdur. İnsanın fiziki vəziyyətinin, mövcud təcrübələrin, xəstəlik tarixçəsinin rəqəmsal qeydiyyatı, fərdi sağlamlıq, səhiyyənin idarə olunması, bütün əhali üçün sağlamlıq strategiyaları və real vaxt rejimində yeni bilik və baxışların formalaşdırılmasında inqilabi dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Bütün bunlar rəqəmsal tibb ekosisteminin əsas komponentlərini təşkil edir. Hazırda rəqəmsal tibb elektron formada toplanmış məlumatlarla yanaşı, texniki və kommunikasiya infrastrukturunu, eləcə də səhiyyə ekosistemində tətbiq olunan texnologiyaları əhatə edən geniş anlayış kimi formalaşmışdır [6,9]. Rəqəmsal tibb sahəsindəki inqilabi nailiyyətlər sağlamlıq, tibb və biotibb elmlərini əsaslı şəkildə dəyişməkdədir və daha sağlam gələcəyin qurulması üçün zəruri olan vasitələri yenidən müəyyənləşdirir. Süni intellekt, bulud texnologiyaları, maşın təlimi, blokçeyn texnologiyası, rəqəmsal alətlər, telesəhiyyə və mobil səhiyyə tətbiqləri səhiyyə xidmətləri və biotibb sahəsində geniş şəkildə tətbiq olunur. Bu texnologiyalar daha erkən diaqnostika və profilaktik tədbirlərin görülməsinə, nəticələrin yaxşılaşdırılmasına və pasiyentlərin prosesə daha fəal şəkildə cəlb olunmasına zəmin yaradır [5,10].

Rəqəmsal əsrdə fərdi və əhali sağlamlığının təmin olunması və dəstəklənməsi qarşısında duran konkret maneələrdən (məsələn, COVID-19 pandemiyası, tibbi personalın çatışmazlığı, maliyyə problemləri və s.) asılı olmayaraq, rəqəmsal tibb bu çətinliklərlə mübarizə aparmaq üçün həyata keçirilən tədbirlərin effektivliyinin artırılmasında mühüm rolunu oynaya bilər. Hazırda rəqəmsal texnologiyaları səhiyyənin bütün sahələrində, tibbdə geniş tətbiq olunur. Tibbi xidmətlərin göstərilməsində rəqəmsal innovasiyanın potensialından diaqnostika və müalicənin təkmilləşdirilməsi, tibbi xidmətin fasiləsizliyinin təmin edilməsi, teletibb vasitəsilə xəstələrin uzaqdan nəzarət olunmasının asanlaşdırılması, fərdlərlə əməkdaşlıq imkanlarının genişləndirilməsinə dəstək verilməsi və xidmətin çatdırılması sistemində yarana biləcək səhv və vaxt itkisinin azaldılması kimi sahələrdə istifadə oluna bilər [9].

Rəqəmsal tibb ekosistemləri səhiyyə infrastrukturunu haqqında yanaşmaları tamamilə dəyişir [6]. Səhiyyədə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi səmərəliliyi artırır, peşəkar əməkdaşlığı asanlaşdırır və pasiyentlərin xidmətlərə əlverişliliyini təmin edir. Ədəbiyyat analizi göstərir ki, rəqəmsal tibb ekosisteminin dəqiq tərfi hər bir fərdin və ya tibb müəssisəsinin baxışından asılı olaraq bir qədər fərqli olsa da, bəzi xüsusiyyətlər eynilik təşkil edir. Bunlara aşağıdakılar aiddir:

- Müxtəlif səhiyyə xidmətlərini birləşdirən və əməkdaşlığı təşviq edən rəqəmsal platformanın yaradılması;
- Məlumat mübadiləsinin, alətlərin, qurğuların və verilənlərin inteqrasiyası və əlaqələndirilməsi;
- Tibbi xidmətlərin müəssisəyönümlü modeldən pasiyentyönümlü modelə transformasiyası.

Digər sahələrdə olduğu kimi, rəqəmsal texnologiyalar səhiyyə sistemlərinin necə qurulmasına, pasiyentlərlə qarşılıqlı əlaqə imkanlarının yaradılmasına və tibbi xidmətlərin göstərilməsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərəcəkdir. Rəqəmsal həllər son onillik ərzində səhiyyə sahəsində mühüm rol oynamış olsa da, bütün səhiyyə sistemində səmərəliliyi təmin etmək üçün təklif olunan həllərə kompleks yanaşmanın olması vacibdir [3]. Rəqəmsal ekosistem müxtəlif məlumat resurslarını, tətbiqləri, qurğuları və texnologiyaları bir-biri ilə əlaqələndirərək onların fasiləsiz şəkildə birlikdə işləməsinə təmin edir [11]. Bu yanaşma cəmiyyətə tibbi xidmətlərin təşkili və göstərilməsi üçün yeni imkanlar təqdim edir və pasiyent-həkim münasibətlərinin və ümumi əhali sağlamlığının yaxşılaşdırılması üçün innovativ həllər təklif edir. Rəqəmsal tibb ekosistemləri aşağıdakı funksional xarakteristikalara malikdir [3,6,11,12]:

- Rəqəmsal tibb ekosistemləri müxtəlif tibbi xidmətlər təklif edən müəssisələr, xidmət təminatçıları və maraqlı tərəflər arasında əməkdaşlığı asanlaşdırır.
- Fasiləsiz, etibarlı və təhlükəsiz məlumat mübadiləsinin təmin olunması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Buna misal olaraq, pasiyentin sağlamlıq vəziyyətinə daim nəzarət etməyə imkanı verən virtual sağlamlıq kartı göstərilə bilər. Bununla yanaşı, rəqəmsal tibb ekosistemində daxil olan bütün həllər məlumatların toplanması, saxlanması və paylaşılmasını sadələşdirməlidir.
- Pasiyentin təcrübəsi nəzərə alınmaqla rəqəmsal kanallar vasitəsilə tibbi xidmətlərə çıxışı asanlaşdırılması.
- Xidmət təminatçılarına məhdud resurslar hesabına maksimum fayda əldə etmək üçün səmərəliliyin artırılması yollarını müəyyənləşdirmək və onlardan istifadə etməyə imkanı yaradır.

Rəqəmsal tibb ekosistemləri səhiyyə sistemində getdikcə daha təsiredici və əhəmiyyətli bir konsepsiyaya çevrilməkdədir. Ədəbiyyat analizi göstərir ki, rəqəmsal transformasiyanın səhiyyə xidmətlərinin səmərəliliyində rolunu araşdırmaq üçün vətəndaşlara göstərilən rəqəmsal dövlət xidmətləri göstərici kimi qəbul edilə bilər [1]. Vətəndaşlar üçün rəqəmsal dövlət xidmətləri göstərilən xidmətlərin və məlumatların onlayn, o cümlədən portallar vasitəsilə əlverişli olma dərəcəsi ilə qiymətləndirilir. Tibbi xidmətlərin səmərəliliyi baxımından bu göstərici səhiyyə sisteminin rəqəmsal vasitələrlə pasiyentlər və ictimaiyyətlə nə qədər effektiv əlaqə qurduğunu əks etdirir. Bu vasitələrə onlayn görüşlərin planlaşdırılması, teletibb xidmətləri, elektron sağlamlıq kartı və ictimai tibbi məlumatların yayılması daxildir.

III. PASİYENTYÖNÜMLÜ RƏQƏMSAL TİBB

Pasientyönümlü yanaşma əsasında tibbi xidmətlərin göstərilməsi səhiyyə sahəsindəki mənzərəni əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməkdədir. Bu yanaşmanın əsas üstünlüyü xəstəlik və müalicə dövründə həyata keçirilən bütün tədbirlər, göstərilən xidmətlər pasiyentyönümlüdür. Rəqəmsal texnologiyalardan istifadə etməklə pasiyentlə tibbi xidmət təminatçısı arasında fərdiləşdirilmiş və əməkdaşlığa əsaslanan təcrübələrin formalaşmasına imkan yaradır və pasiyentin məmnuniyyətini artırır. Bu konsepsiyaya əsasən

pasiyentyönümlü tibb sistemində xidmətlər müxtəlif kanallar üzrə integrasiya olunmuş şəkildə təqdim edilir və tibbi xidmət göstərənlər pasiyentlər üçün ardıcıl, fasiləsiz və fərdiləşdirilmiş təcübə qazandırır [3,13]. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının 2020–2025-ci illər üçün qəbul etdiyi rəqəmsal tibb üzrə qlobal strategiya tibbi diaqnostikanın təkmilləşdirilməsi, verilənlər əsasında müalicə qərarlarının qəbul, rəqəmsal terapiyalar, klinik tədqiqatlar, özünəqulluq və pasiyentyönümlü tibbi xidmətlər vasitəsilə sağlamlıq göstəricilərinin yaxşılaşdırılması potensialına malik olan fasiləsiz xidmət prinsipi əsasında formalaşan ağıllı tibb ekosisteminin formalaşdırılmasını nəzərdə tutur [14]. Strategiya, eyni zamanda, tibbi xidmətlərin göstərilməsini dəstəkləmək üçün mütəxəssislərin elmi biliklərə əsaslanan, bacarıq və kompetensiyalarının artırılmasını hədəfləyir. Əgər belə demək mümkündürsə, hazırda səhiyyə sistemi özünün transformasiya mərhələsini yaşayır və əsas hədəflərdən biri fasiləsiz pasiyentyönümlü xidmətlərin göstərilməsidir. Səhiyyə sistemində rəqəmsal texnologiyalardan istifadə imkanları genişləndikcə səhiyyə təminatçıları göstərdikləri tibbi xidmətləri pasiyentin ehtiyac və seçimlərinə uyğunlaşdırmasına imkan verir. Texnologiya və tibb sahəsində əldə olunan nailiyyətlər xidmət təminatçılarına yalnız pasiyentyönümlü deyil, eyni zamanda effektiv olan tibbi xidmətlərə artan tələbatı ödəməyə imkan verir. Şəkil 1-də pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb ekosisteminin komponentləri göstərilmişdir.



Şəkil 1. Pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb ekosistemi.

Aydın ki, ekosistemin yaradılması üçün ilk növbədə tibb müəssisələri pasiyentyönümlü səhiyyənin rəqəmsal infrastrukturunu formalaşdırmalıdır. Integrasiya olunmuş tibb ekosistemi klinik tədqiqatlar, pasiyent-həkim əlaqələrinin idarə olunması, pasiyentin sağlamlıq kartı və s. kimi fərqli informasiya sistemlərini bir araya gətirəcək və həkimlər, sığorta şirkətləri, laboratoriyalar və digər maraqlı tərəflər arasında pasiyent məlumatlarının daha səmərəli mübadiləsinə imkan yaradaraq fərdiləşdirilmiş rəqəmsal xidmətlərin təqdim olunmasını təmin edəcəkdir.

İnfrastrukturun formalaşdırılması üçün məlumatların rəqəmsallaşdırılması, pasiyentin tibbi tarixçəsinin və ya təcrübəsinin transformasiyasıda mühüm rol oynayır. Əsas məlumat mənbələrinə klinik məlumatlar, elektron sağlamlıq kartı, daşınabilən qurğulardan əldə olunan məlumatlar və tibb müəssisələri vasitəsilə toplanan resept məlumatları daxildir. Təcrübədə bu məlumat mənbələri ayrı-ayrı bölmələrdə yaradıldığından pasiyentin xəstəlik tarixçəsi haqqında tam mənzərəni müəyyən etməyə mane olur. Rəqəmsal platformanın formalaşdırılması ayrı-ayrı tibb müəssisələri tərəfindən yaradılan tətbiqlərdə, bazalarda toplanan məlumatları heç bir məhdudiyyət olmadan, fasiləsiz integrasiyasını təmin etməklə pasiyent haqqında tam məlumatın əldə edilməsinə və təkmilləşdirilmiş, təcrübə əsaslı xidmətlərin göstərilməsinə imkan verəcəkdir. Bu baxımdan, fəaliyyət göstərən xəstəxanalar, xidmət təminatçıları və digər maraqlı tərəflər arasında səmərəli məlumat mübadiləsinin təmin etmək üçün əməkdaşlıq zəruridir. Bundan əlavə, məlumat mənbələrini daha dərinlən analiz etmək məqsədilə hazırda süni intellekt texnologiyalarından istifadə olunmaqdadır. Süni intellektlə ilə təchiz olunmuş diaqnostika sistemləri, klinik qərar qəbul etmə alətləri, dərman kəşfi mərhələləri və robot texnologiyaları pasiyentlərin bilik əsasında qərar qəbul etməsinə dəstəkləyəcək və həkim-pasiyent qarşılıqlı əlaqəsinin daha da gücləndirilməsinə şərait yaradacaqdır [3,10,15]. Dərmanların kəşfi, klinik qərarvermə, diaqnostika və robot texnologiyaları sahəsində süni intellektin tətbiqinin genişlənməsi, pasiyentin vəziyyəti haqqında tam mənzərənin əldə olunmasını, dəqiq diaqnoz qoyulmasını və yüksək dərəcədə fərdiləşdirilmiş tibbi xidmətlər təqdim etməyi vəd edir.

IV. PASİYENTYÖNÜMLÜ RƏQƏMSAL TİBBİ XİDMƏTLƏRİN ÜSTÜNLÜKLƏRİ, PROBLEMLƏR VƏ ÇAĞIRIŞLAR

Əşyaların İnterneti, böyük verilənlərin analizi, ağıllı daşınabilən alətlər və digər rəqəmsal texnologiyalardan istifadə edən pasiyentyönümlü səhiyyə modeli həm pasiyentlər, həm də tibbi xidmət təminatçıları üçün bir sıra üstünlüklər təqdim edir. Aydın ki, tibb xidmətlərin pasiyentə uyğun şəkildə fərdiləşdirilməsi, pasiyentin xidmət alma təcrübəsinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırılmasına və bununla da məmnunluq səviyyələrinin artmasına səbəb ola bilər. Məsələn, pasiyentin stasionar müalicə dövründə tam müalicə taktikasını özündə əks etdirən mobil tətbiqi misal göstərmək olar. Tibb işçiləri bu tətbiq vasitəsilə pasiyentə dair əsas məlumatları yeniləyə və pasiyentin xəstəxanada keçirdiyi vaxtı daha səmərəli şəkildə planlaşdırmasına şərait yarada bilərlər [13]. Digər tərəfdən, fərdiləşdirilmiş tibbi xidmətlər ilə rəqəmsal xidmətlərin, o cümlədən, virtual monitoring və teletibb kimi texnologiyaların birlikdə təqdim olunması insanlara ailələri ilə daha çox vaxt keçirmək, şəxsi rifah halını yaxşılaşdırmaq, xəstəliklərin profilaktikasını və onlara qarşı mübarizə imkanlarını gücləndirməyə imkan verir. Xroniki xəstəliyi olan şəxslər daşınabilən alətlər və ya əşyaların interneti (IoT) qurğuları vasitəsilə həyatı göstəriciləri, daimi olaraq tibb işçiləri ilə paylaşa bilər və bununla da tibb müəssisəsinin vaxtında və düzgün qərarlar qəbul etməsinə şərait yaradırlar.

Fərdiləşdirilmiş tibbi yanaşmalar müalicə nəticələrinin optimallaşdırılmasına və arzuolunmaz halların başvermə riskinin azaldılmasına səbəb olur. Qeyd etmək lazımdır ki, hazırda müxtəlif xəstəliklər üzrə fərdiləşdirilmiş genetik terapiyalar artıq tətbiq olunmağa başlanmışdır [16]. Süni intellekt əsaslı müalicə modelləri müəyyən terapiyalar üçün baş verə biləcək neqativ halları əvvəlcədən proqnozlaşdıraraq alternativ müalicə planlarının seçilməsinə yardım edə bilər. Bundan əlavə, pasiyentlər terapiya prosesinin bir hissəsi olduqlarını hiss etdikdə və fərdi ehtiyaclarının nəzərə alındığını gördükdə müalicə prosedurlarına riayət etmə ehtimalları daha yüksək olur. Buna nümunə olaraq, mobil tətbiqlər və ağıllı alətlər vasitəsilə həyata keçirilən rəqəmsal terapiyaları göstərmək olar [18]. Bu texnologiyalar pasiyentlərin terapiya prosesində aktiv iştirakını təmin edir və ehtiyac yarandıqda mobil tətbiq üzərindən tibb işçiləri ilə əlaqə qurmağa imkan yaradır.

Bugün üçün bəlkədə ən mühüm məsələlərdən biri xəstəliklərin erkən aşkarlanması və qarşısının alınmasıdır. Bu baxımdan pasiyentyönümlü tibbi yanaşma proaktiv monitorinq və erkən müdaxiləni ön plana çəkir, bu da xəstəliklərin daha erkən mərhələdə aşkarlanmasına və qarşısının alınmasına imkan yaradır [18]. Məsələn, bədən temperaturu, qan təzyiqi, nəbz kimi həyati əlamətlər daşınabilən qurğular və ya ağıllı çəki cihazları vasitəsilə izlənilə bilər və ciddi kənarlaşmalar müşahidə edildikdə Rəqəmsal Tibb Əkizi (Digital Health Twin) tətbiqi vasitəsilə avtomatik şəkildə ailə həkiminə bildiriş göndərilə bilər [19].

Məlumatlandırılmış və fərdiləşdirilmiş bələdçi ilə təchiz olunmuş pasiyentlər, təqdim olunan məlumat və müalicə alternativlərini qiymətləndirməklə həkimlərin qərar qəbul etmə prosesində fəal iştirak edə bilərlər. Süni intellekt dəstəklı müalicə variantları pasiyentin vəziyyətinə, dərman müalicəsinə reaksiyaları və fərdi xüsusiyyətləri nəzərə alınaraq məqsədəuyğun müalicə seçimlərini təqdim edə bilər. Bu halda isə nəticə olaraq, müalicə qərarını həkim və ya ekspert sistemi deyil, məhz pasiyentin özü qəbul edəcəkdir.

Üstünlükləri ilə yanaşı pasiyentyönümlü tibbi yanaşmanın formalaşmasına mane olan əsas amillərdən biri, tibb müəssisələri arasında inteqrasiyanı təmin olunması üçün tələb olunan rəqəmsal infrastrukturun qurulması istiqamətində koordinasiya fəaliyyətinin yetərli olmamasıdır. Pasiyentyönümlü və rəqəmsal tibbin pasiyent üçün nəzərdə tutulan üstünlüklərinin reallaşdırılması üçün maraqlı tərəflərin əməkdaşlıq etməsi və irəli sürülən təşəbbüslərinin hədəfində pasiyent olması vacibdir. Pasiyentyönümlü tibb modelinin həyata keçirilməsinə maneə yaradan əsas problemlər kimi aşağıdakıları qeyd etmək olar [1,6,11-13]:

Resurs və maliyyə çatışmazlığı: Fərdiləşdirilmiş tibbi həllərin yaradılması və tətbiqi əhəmiyyətli resurs və büdcə tələb edir ki, bu da mövcud məhdudiyyətlər fonunda ciddi çağırışlar yaradır. İnvestisiyaların cəlb olunmasını təmin etmək üçün pasiyentyönümlü tibbi xidmətlərin nə dərəcədə əhəmiyyətli olduğu aydın şəkildə əsaslandırılmalıdır.

Konfidensiallıq və pasiyent məlumatlarının mübadiləsi. Pasiyentlərin fərdi məlumatlarının qorunması rəqəmsal tibb sistemlərinin fəaliyyətinin səmərəli təşkili baxımından aktual məsələlərdən biri olaraq qalmaqdadır. Digər

bir məsələ, müxtəlif tibb müəssisələri tərəfindən təqdim olunan xidmətlərin inteqrasiyası baxımından məlumatın sahibini kimi pasiyentin lazımi məlumatların paylaşılmamasına razılığının alınması mühüm çağırış olaraq qalır. Məlumatın konfidensiallığının təmin olunmasına dair narahatlıqların aradan qaldırılması, etibarlı şəkildə idarə olunması həm pasiyentlər, həm də tibb müəssisələri üçün qarşılıqlı inam mühiti yarada bilər.

Proqram vasitələrinin və platformaların inteqrasiyası. Aydındır ki, tibb müəssisələrinin rəqəmsal infrastrukturunun formalaşdırılması, innovativ texnologiyaların və həllərin tətbiqi maliyyə resursları tələb edir. Müxtəlif texnologiyaların və platformaların inteqrasiyası nəticəsində pasiyentlər üçün fasiləsiz və səmərəli xidmətlər təqdim etmək mürəkkəb proses olmaqla yanaşı, böyük maliyyə vəsaiti tələb edir. Tibbi xidmət təminatçıları, müəssisələr pasiyentlər üçün səmərəli xidmətlər təqdim etmək məqsədilə birlikdə çalışmalıdırlar.

Qərar qəbul etmə prosesində pasiyentin iştirakı. Pasiyentlərin öz sağlamlıqları ilə bağlı qərar qəbul etmə prosesində fəal iştirakını təmin etmək üçün onların maarifləndirilməsi və davamlı dəstək göstərilməsi zəruridir. Pasiyent-həkim ortaq qərar qəbul etmənin dəstəklənməsi üçün pasiyentlərin məlumatlandırılması və məqsədyönlü fəaliyyətin olması vacibdir.

Pasiyentyönümlü modelin tətbiqi: Aydındır ki, pasiyentyönümlü fəaliyyət modelinə keçid əhəmiyyətli təşkilati dəyişikliklər tələb edir. Tibb ekosistemində yer alan bütün maraqlı tərəflər bu dəyişikliklərin həyata keçirilməsi üçün əlaqələndirilmiş və məqsədyönlü fəaliyyət göstərmələri zəruridir.

Hazırda müxtəlif sahələrdə olduğu kimi, rəqəmsal texnologiyalar səhiyyə sahəsində də inqilabi dəyişikliklərə səbəb olur. Müasir səhiyyə sistemlərinin formalaşmasında rəqəmsal həllər həlledici rolə malik olsa da, rəqəmsal tibb ekosistemləri bu inkişafın növbəti mərhələsi kimi qəbul edilir. Vahid platformaya inteqrasiya olunmuş, daha yaxşı əlaqələndirilmiş və pasiyentyönümlü sistemlər tibbi xidmətlərə çıxışı asanlaşdırır, pasiyentyönümlü xidmətləri əlçatan edir, xidmətin təhlükəsizliyini artırır, səmərəliliyi təşviq edir və əvvəllər bir-birindən ayrı fəaliyyət göstərən tibbi personalı və mütəxəssisləri arasında əməkdaşlığı gücləndirir.

NƏTİCƏ

Rəqəmsal tibb ekosistemində texnologiyaların inteqrasiyası və qarşılıqlı informasiya mübadiləsi həlledici əhəmiyyətə malikdir. Rəqəmsal tibb ekosistemi real vaxt rejimində verilən əsaslı qərar qəbul etməni mümkün edir, rəqəmsal platformalar vasitəsilə pasiyentlərin iştirakını təmin edir və fərdiləşdirilmiş tibbi xidmətlərin göstərilməsini imkan verir. Eyni zamanda, rəqəmsal tibb ekosistemi, xəstəliklərin izlənməsi və idarə olunmasında mühüm rol oynayan əhəmiyyətli məlumatları analiz etməklə əhali sağlamlığının idarə edilməsinə dəstəkləyir. Məqalədə rəqəmsal tibb ekosisteminin formalaşdırılması və pasiyentyönümlü yanaşma əsasında tibbi xidmətlərin göstərilməsi dair baxışlar analiz olunur. Pasiyentyönümlü rəqəmsal tibb modelinə keçidin üstünlükləri, fərdiləşdirilmiş xidmətlərin göstərilməsi, bu sahədə çağırışlar və problemlər araşdırılır. Qeyd etmək lazımdır ki, pasiyentyönümlü tibb və

onu müşayiət edən rəqəmsal texnologiyalar səhiyyə sisteminin gələcəyini formalaşdırır. Rəqəmsal texnologiyalar və fərdiləşdirilmiş tibbin formalaşması səhiyyəni vahid və daha effektiv sistemə çevirmək potensialına malikdir. Mövcud çağırışlara, problemlərə baxmayaraq, daha yaxşı müalicə nəticələri, fərdiləşdirilmiş xidmətlər, mövcud təcrübələrin təkmilləşdirilməsi, qərar qəbulətmədə pasiyentlərin iştirakı və pasiyent məmnuniyyəti kimi üstünlüklər, səhiyyə sektorunda pasiyentyönümlü modelə keçidi zəruri edir. Qeyd etmək lazımdır ki, rəqəmsal tibb ekosisteminin formalaşması, pasiyentyönümlü xidmətlərin inkişaf etdirilməsi gələcəkdə daha çox pasiyent ehtiyac və seçimləri ətrafında qurulmuş bir səhiyyə sisteminin formalaşacağını proqnoz etmək olar.

ƏDƏBİYYAT

- [1] A. Kwilinski, K. Szczepanska-Woszczyna, O. Lyulyov, T. Pimonenko, “Digital public services: Catalysts for healthcare efficiency,” *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 10, Issue 3, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100319>
- [2] Digital health - Statistics & Facts, 2024, www.statista.com/topics/2409/-digital-health/#topicOverview
- [3] S. Madanian, I. Nakarada-Kordic, S. Reay, T. Chetty, “Patients' perspectives on digital health tools,” *PEC Innovation*, vol. 2, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2023.100171>
- [4] A. Kwilinski, “The relationship between sustainable development and digital transformation: bibliometric analysis,” *Virtual Econ.* 6, 2023, pp. 56–69. [https://doi.org/10.34021/ve.2023.06.03\(4\)](https://doi.org/10.34021/ve.2023.06.03(4))
- [5] J.M. McGinnis, H.V. Fineberg, and V.J. Dzau, “Advancing the Learning Health System,” *New England Journal of Medicine*, 385, 2021. pp.1-5. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2103872>
- [6] L. Stephanie, R.S. Sharma, “Digital health eco-systems: An epochal review of practice-oriented research,” *International Journal of Information Management*, vol. 53, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.10.017>
- [7] H.S.M. Abbas, Z.H. Qaisar, G.Ali, F. Alturise, T. Alkhalifah, “Impact of cybersecurity measures on improving institutional governance and digitalization for sustainable healthcare,” *PLoS ONE* 17, 2022, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274550>
- [8] M. Koddebusch, H. Koelmann, O. Friedrich, and J. Becker, “Bridging the Gap between e-Government and e-Health: Recommendations for Deploying e-Health Services in the Public Sector,” In *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Digital Government Research (dg.o '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 440–448, <https://doi.org/10.1145/3598469.3598519>
- [9] A. Abernethy, L. Adams, M. Barrett, et al. “The Promise of Digital Health: Then, Now, and the Future,” *NAM perspectives*, 2022, <https://doi.org/10.31478/202206e>
- [10] P. Santos and I. Nazaré, “The doctor and patient of tomorrow: exploring the intersection of artificial intelligence, preventive medicine, and ethical challenges in future healthcare,” *Front. Digit. Health*, 7:1588479, 2025, <https://doi.org/10.3389/fdgh.2025.1588479>
- [11] Digital ecosystems: The future of healthcare, www.roche.com/stories/digital-healthcare-ecosystem
- [12] What is Digital Healthcare Ecosystem?, www.tigahealth.com/what-is-digital-healthcare-ecosystem/
- [13] Patient-centric digital transformation unlocks healthcare opportunities, www.cognizant.com/de/de/insights/blog/articles/patient-centric-digital-healthcare-en
- [14] WHO, Global strategy on digital health 2020-2025, 2021, <https://www.who.int/docs/default-source/documents/gsdhdaa2a9f352b-0445bafbc79ca799dce4d.pdf>
- [15] Australian Digital Health Agency, Connecting Australian healthcare – national healthcare interoperability plan 2023-2028, 2022, www.digitalhealth.gov.au/about-us/strategies-and-plans/national-healthcare-interoperability-plan
- [16] P. Nyiramana Mukamurera, “Personalized Medicine: Tailoring Treatments to Individual Genetic Profiles,” *Research invention journal of biological and applied sciences*, 3(3), 2024, pp. 42–45.
- [17] D.G. Schwartz, S. Spitzer, M. Khalemsky, A.H. Cano-Bejar, et al. “Apps don't work for patients who don't use them: Towards frameworks for digital therapeutics adherence,” *Health Policy and Technology*, № 2, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2024.100848>
- [18] E. Katsoulakis, Q. Wang, H. Wu, et al. “Digital twins for health: a scoping review. *npj Digit. Med.* 7(77), 2024, <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01073-0>
- [19] Metabolic health for every body, [http://usa.twinhealth.com](https://usa.twinhealth.com)

Səs Rəqslərinin Aşağı Zolaq Tezliklərinin Akustik Küyünün Sağlamlığa Bəzi Zıyanlı Təsirləri

Bikəs Ağayev¹, Məleykə Paşayeva²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹bikies418@gmail.com, ²maleykapashayeva15@gmail.com

Xülasə—Məqalə səs signallarının aşağı zolaq tezliklərinin akustik küyün ətraf mühiti çirkləndirməsi problemlərinə və sağlamlığa ziyanlı təsirinin araşdırılmasına həsr edilmişdir. Bu məsələlərin həllinin aktuallığını və global əhəmiyyətini əsaslandırmaq məqsədilə BMT-nin “Dayanıqlı inkişaf konsepsiyası” sənədinə və digər nüfuzlu təşkilatların hesabatlarına istinad edilmişdir. Səs signallarının eşidilməyən infrasəs və eşidilən aşağı tezlik spektrlərinin sağlamlıq üçün yaratdığı bir sıra patoloji hallar araşdırılmışdır. İstehsalat sahəsindəki infrasəs mənbəyinin işçinin sağlamlığına təsirini qiymətləndirmək məqsədilə eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Tədqiqat obyekti üzrə ölçmə nəticələri müvafiq standartların tələbləri əsasında emal edilmişdir. Alınmış nəticələr sanitar normaların göstəriciləri ilə müqayisə edilməklə iş yerinin küy mühitinin işçilərin sağlamlığına təsir dərəcəsi qiymətləndirilmişdir. Akustik küyün yol verilən həddən yüksək səviyyələrinin ziyanlı təsirinin azaldılması məqsədilə bəzi mühafizə tədbirləri tövsiyə edilmişdir.

Açar sözlər — ekoloji problemlər; ekoloji çirklənmə; akustik küy çirklənməsi; küyün sağlamlığa ziyanlı təsiri; aşağı zolaq tezlikləri; küydən mühafizə.

I. GİRİŞ

Hal-hazırda bəşəriyyəti narahat edən global problemlərdən biri də ekologiya problemləridir. Qlobal istiləşmə, bioloji müxtəlifliyin kəskin azalması, münbit torpaqların eroziyası, səhralaşma və s. proseslərlə yanaşı ətraf mühitin çirklənməsi də mühüm ekoloji problemlərdən biri hesab edilir. Ətraf mühitin çirklənməsi dedikdə atmosfer havasının, suyun çirklənməsi, radiaktiv və elektromaqnit şüalarla, tullantılarla çirklənmə ilə yanaşı akustik küy çirklənməsi (ing. noise pollution) nəzərdə tutulur.

Birləşmiş Millətlər Təşkilatının dünyanın gələcək dayanıqlı inkişafı və ekoloji problemlərin həllinə aid Ümumdünya Sammitlərində (Strasburq-1987, Jenevrə-1992, Yohannesburq-2002) qəbul edilmiş “Dayanıqlı inkişaf konsepsiyası”da qeyd edilir ki, dünyanın gələcək inkişafı həmçinin ekoloji problemlərin necə həll olunmasından asılı olacaqdır. Bu sənədlərdə insanların gündəlik fəaliyyəti nəticəsində yaranan akustik küy (küy çirklənməsi) ətraf mühitə ziyanlı təsir göstərən mühüm amillərdən biri kimi qeyd edilir. Son bir neçə onilliklər ərzində urbanizasiya prosesinin güclənməsi, texnologiyaların sürətli inkişafı, xüsusilə nəqliyyat vasitələrinin sayının kəskin artması, insan fəaliyyətinin intensivləşməsi və s. amillər küy çirklənməsi coğrafiyasının genişlənməsinə, küy səviyyəsinin yüksəlməsinə, küy təsirindən yaranan xəstəliklərin və digər arzuolunmaz halların artmasına səbəb olmuşdur. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı, ÜST (WHO), Avropa Ətraf Mühit Agentliyi (EEA), ABŞ-ın Əmək və

Sağlamlığı Mühafizə Milli İnstitutu (NIOSH) və s. kimi bir sıra beynəlxalq və regional təşkilatların qiymətləndirməsinə görə insan sağlamlığı və ətraf mühitə ziyanlı təsirinə görə küy çirklənməsi atmosfer havasının çirklənməsindən sonra ikinci əsas səbəbdır [1-3].

Küy çirklənməsi şəhər mühitində geniş yayılmış haldır və insanların sağlamlığına, psixoloji vəziyyətinə təsir edir. Belə ki, küy çirklənməsi bir sıra ciddi xəstəliklərin yaranmasına bilavasitə səbəb olur və ya onların yaranması üçün əlverişli zəmin yaradır. Ona görə də, ətraf mühitin küy vəziyyətinin öyrənilməsi və qiymətləndirilməsi, insan sağlamlığının izafi küy təsirindən qorunması məqsədilə idarəedici qərarların qəbulu və müvafiq mühafizə tədbirlərinin həyata keçirilməsi nöqtəyi-nəzərdən aktual və mühüm əhəmiyyətə malik məsələlərdəndir. Bu səbəbdən bir çox ölkələr ətraf mühitin küy çirklənməsini ciddi ekoloji problem kimi qəbul edir, onun idarə olunmasını beynəlxalq və milli qanunvericilik əsasında tənzimləyirlər. Sübut olunmuşdur ki, uzun müddətli səs-küy şəraiti insanlarda emosional vəziyyətin pisləşməsinə, stresslərə, iş qabiliyyətinin, əmək məhsuldarlığının, iş keyfiyyətinin və təhlükəsizliyinin azalmasına və bir sıra xəstəliklərin yaranmasına səbəb olur. Hesablanmışdır ki, yüksək dəqiqlik tələb edilən işlərdə səs səviyyəsinin normadan (55 dbA) 70-80 dbA-dək artması ilə əmək məhsuldarlığı orta hesabla 20% azalır. Son illər problem daha da kəskinləşmiş və diskomfort küy zonalarının əhatə dairəsi xeyli genişlənməmişdir. Məsələn, hazırda Avropa İttifaqında (AI) əhalinin 80%-i diskomfort küy zonası ilə əhatə olunub. ÜST-nin məlumatına görə son 10 ildə dünyanın iri şəhərlərində küy səviyyəsi 40% yüksəlib və bu artım dinamikası müsbətdir [1].

II. AKUSTİK KÜYÜN İNSAN ORQANİZMİNƏ BƏZİ TƏSİR XÜSUSİYYƏTLƏRİ HAQQINDA

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi insanların uzun müddət küy mühiti normativ göstəricilərdən yüksək olan şəraitinə olması bilavasitə bir sıra ciddi xəstəliklərin əmələ gəlməsinə səbəb ola bilər və ya bu patologiyaların baş verməsi üçün əlverişli zəmin yaradır. İnsan orqanizminə səs-küyün zərərli təsirinin təzahürləri çox fərqlidir. Bu ilk növbədə fərdlərin (qulağın) müxtəlif tezliklərdə subyektiv qavrama hissinin (həssaslığının), həssaslığının və dözümlüliyünün geniş həddə fərqli olması ilə əlaqədardır. Gündəlik həyat şəraitində insanlar əsasən 0-8000 Hz tezlikli səslərin təsirinə məruz qalır. Bu zolaq daxilində qəbul edilən səsin intensivliyini dəyişməz saxlayıb tezliyini artırıdıqca qulağın həssaslığının da əhəmiyyətli dərəcədə artdığını müşahidə edirik. 1000-4000 Hz tezlik diapazonunda qulaq ən yüksək həssaslığa malikdir və təxminən sabit hesab

etmək olar. 4000 *Hz* tezlikdən sonrakı diapazonda qulaq həssaslığı yenidən tədricən azalır və ultrasəs tezliklərdən başlayaraq qulağın həssaslığı sıfıra enir, yəni səslər eşidilməz olur.

Tibbi statistika göstərir ki, son illərdə eşitmənin pisləşməsi (eşitmə həddinin yüksəlməsi) və karlıq peşə xəstəliklərinin strukturunda aparıcı yer tutur və artım tendensiyasına malikdir. ÜST-nin Avropa Regional Mərkəzinin məlumatına görə Aİ-də, bilavasitə küydən ildə 16 min nəfər ölür və 72 min hospitalizasiya edilir. 1 mln. nəfərin digər xəstəliklərinin əsas səbəblərindən biri küydür. Hazırda intensiv küy səbəbindən dünyada 500 mln. insanda eşitmə qüsuru var və müsbət dinamika proqnozlaşdırılır [1-2].

Eşidilən diapazona aid yüksək intensivlikli (80 *dbA*-dan yuxarı) sabit və qeyri-sabit (tonal və ya genişzolaqlı) səs-küyün insana uzunmüddətli təsiri eşitmə qabiliyyətinin tam və ya qismən itirilməsinə səbəb olur. Küyün təsir müddəti və intensivliyindən asılı olaraq eşitmə orqanlarının həssaslığının az və ya çox dərəcədə azalması baş verir ki, bu da eşitmə həddinin müvəqqəti yüksəlməsi ilə müşahidə olunur ("eşitmənin təbii azalması amili"). Bu hal küyün təsiri bitdikdən sonra yox olur – eşitmə dərəcəsi əvvəlki vəziyyətinə qaydır. Uzunmüddətli və (və ya) yüksək intensivlikli küy isə eşitmə həddinin birdəfəlik dəyişikliyi ilə xarakterizə olunan “eşitmənin dönməz itkisi” adlanan karlıq halını yaradır. Lakin bir çox hallarda güclü küy şəraiti karlıqdan əvvəl bir sıra qeyri-infeksion qulaq aparatı xəstəliklərinin: tinnitus – mövcud olmayan səslərin eşidilməsi; hiperakuziya – səsə olduqundan daha yüksək səviyyədə qavranması və s. xəstəliklərin yaranmasına səbəb ola bilər [4]. Digər tərəfdən güclü səs-küy hipertoniya ürək xəstəliyi, koronar kardioskleroz, stenokardiya, miokard infarktı və s. xəstəliklərin yaranma riskini artırır. Burada qeyd edilir ki, 80 *dbA*-dakı səviyyəsinin eşitmə orqanı üçün 100% təhlükəsiz olmasına baxmayaraq küyün 64 *dbA*-dan 77 *dbA*-ya qədər yüksəlməsi infeksiya xəstəliklərinin tezliyini 3 dəfə artırır ki, bu da orqanizmin immunitetinin azalması ilə izah edilir. Eşidilməyən ultrasəs rəqslərinin yüksək dozaları isə dərhalı toxuma və hüceyrələri güclü istimləklə dəri, göz və beyin xəstəliklərinə səbəb ola bilər. Müəyyən dozadan müəyinə və müalicəvi məqsədlərlə, məsələn, ultrasəs diaqnostikasında istifadə edilir.

III. İNFRASƏS KÜYÜNÜN İŞÇİNİN SAĞLAMLIĞINA TƏSİRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜZRƏ APARILMIŞ EKSPERİMENTAL TƏDQIQATLAR HAQQINDA

250 *Hz*-dək olan akustik rəqslər aşağı tezlik zolağı kimi qəbul edilib. Bu zolaq canlılara təsir xüsusiyyətləri fərqli olan iki hissəyə bölünür: 20 -250 *Hz* aralıqlı eşidilən aşağı tezlikli rəqslər və 16-20 *Hz*-dən az olan eşidilməyən akustik İS rəqsləri. İS siqnalları böyük dalğa uzunluğuna malik olduğu üçün atmosferdə az sönür və öz enerjisini xeyli dərəcədə saxlamaqla mənbədən uzaq məsafəyə yayılır. İnsanın eşitmə aparatı bu tezlikli rəqsləri səs kimi qavramır (eşitmə). Lakin İS yüksək səs təzyiqi intensivliyinə (100 *db*-dən yüksək) malikdirsə qulaqda döyünmə və təbil hissədə ağır hissi yaranır.

İS və aşağı tezliklər iri həcmli obyektlərin və müstəvilərin hərəkəti zamanı, böyük konstruksiyalara zərbələr vurulduqda, iri mexanizmlərin irəli-geriləmə və fırlanma hərəkəti 20 *Hz*-dən kiçik tezliklərlə təkrarlandığında, böyük kütləli hava və maye axınları nəticəsində yaranır. Eyni səbəblərdən bəzi təbii hadisələr, məsələn ildırım çaxması, güclü külək, dəniz və okeanlarda fırtına, şalalələr və s. İS mənbələridir [5].

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, İS 16-20 *Hz*-dək olan eşidilməyən tezlik zolağının səs dalğaları insan sağlamlığı üçün digər tezlik zolaqlarına nisbətən daha təhlükəlidir. Ona görə də bir çox ölkələrdə İS-in təsiri ilə yaranan neyrosensor, eşitmə zəifliyi və karlıq, vestibulyar sindromu, mərkəzi və vegetativ sinir sisteminin, qan dövranı və tənəffüs orqanlarının bir sıra patoloji halları və s. peşə xəstəlikləri sırasına daxil edilmişdir [6].

Bu siqnallar digər zolaqlardakı siqnallardan fərqli olaraq insanın eşitmə aparatından daha çox onun digər orqanlarına və funksional sistemlərinə, məsələn, mərkəzi və vegetativ sinir sisteminə, qan dövranı və tənəffüs orqanlarına təsir göstərir. İS-in təsiri onun kiçik sönmə əmsalına malik olması səbəbindən havada maneələri aşaraq böyük məsafələri qət etməsi, başlıcası isə daxili orqanların fasiləsiz olaraq aşağı və infrasəs tezliklərində vibrasiya etməsidir. Məlumdur ki, insan bədəni mexaniki xüsusiyyətləri fərqli olan toxuma parçalarının birləşmələrindən ibarətdir və bu parçaların məxsusi vibrasiya tezliyi mənbənin infrasəs tezliyinə bərabər olarsa orqanların rezonans halına keçib daha böyük xətti rəqslərinə səbəb ola bilər. Bu mexaniki gərginlik toxumaların birləşmə sərhədlərində ayrılmasına, qan damarlarının zədələnməsinə (qanaxmalara) və digər fəsadlara, o cümlədən ölümə səbəb ola bilər [7]. Sübut olunmuşdur ki, səs siqnallarının tezliyi azaldıqca qulağın eşitmə həssaslığı da azalır və aşağı tezliklərdə, xüsusən İS zolağında səs təzyiqi səviyyəsinin obyektiv ölçmə qiymətləri ilə subyektiv qavranılan (qulağa real təsir edən) səviyyə arasında kəskin uyğunsuzluq (fərq) yaranır. Bu disbalansı aradan qaldırmaq üçün ölçü nəticələri korreksiya edilir [8].

CƏDVƏL 1. Ölçmələrə edilən standart korreksiyanın qiymətləri.

Tezlik, Hz	≤16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korreksiya, db	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	1,2	1,0	1,1

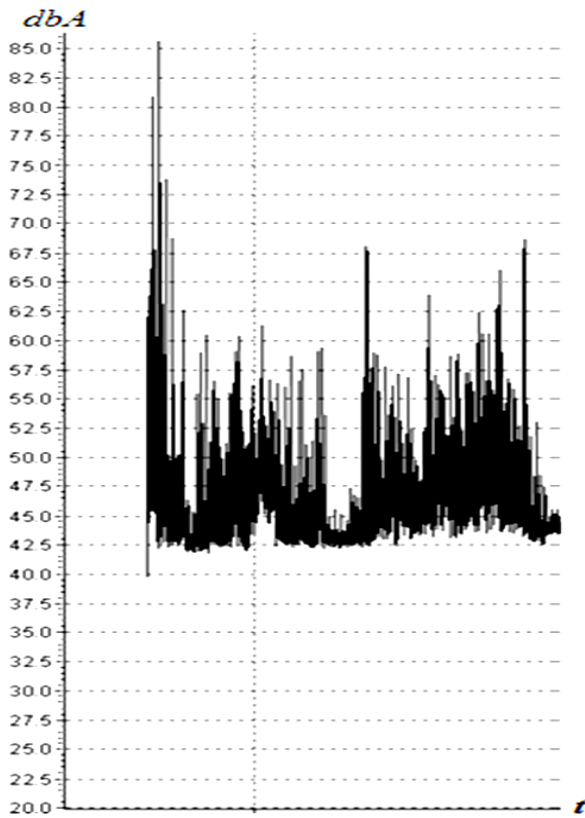
İS küyünün işçinin sağlamlığına təsirinin qiymətləndirilməsi məqsədilə tərəfimizdən eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Tədqiqat obyektini olaraq sıradan çıxmış sarğılarının bərpasından sonra iş rejiminin yoxlanması məqsədilə test sınaqlarından keçirilən böyük gücə malik su nasosu seçilmişdir. Nasosun əsas parametrləri:

- Çinin FANSY firması, tipi 156FZ330035;
- Üçfazlı, 380V gərginlikli, qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikli;
- nominal gücü - 37000,0 *Vt*;
- məhsuldarlığı $Q_{max} = 4000,0$ l/dəq.

Sınaqlar müəssisədaxili təlimat üzrə iki nəfər işçi tərəfindən keçirilir. Mühərrik şəbəkə gərginliyinə yol verilən maksimal (+15%, 437V) və minimal (-10%, 352V) hədlərində

növbə ilə yoxlanır və avtotransformator vasitəsilə əllə tənzimlənir. Mühərrikin iş rejimi əsasən mühərrikin temperatur (qızma) və cərəyan şiddəti parametrlərinə görə qiymətləndirilir. Sınaqlar təkrarlanır və sınaq göstəricilərinin orta qiymətləri nəzərə alınır. Məqalənin məqsədləri üçün bir neçə sınaq nahar fasiləsi müddətində aparılmışdır ki, yaxınlıqdakı digər avadanlıqlar işləməsin və onların generasiya etdikləri səs siqnalları nasosun siqnallarına qarışib interferensiyaya uğramasın.

Nasosun yaratdığı səs təzyiqi səviyyəsinin ölçülməsi üçün “ПКФ Цифровые приборы” firmasının (Moskva) “Экофизика-110А” peşəkar küyölçənindən (dəqiqlik sinifi-1), akustik kalibrator kimi CAL200 cihazından (dəqiqlik sinifi 1) istifadə edilmişdir. Ölçmələr 5 dəfə, nasosun 5 dəqiqəlik işi müddətində aparılmışdır. Şəkil 1-də test rejimində nasosun səs səviyyəsinin vaxta görə dəyişmə qrafiki (amplitud qrafiki) göstərilmişdir. Qeyd edək ki, məqalənin məqsədləri üçün ölçmə nəticələrinin oktava zolaqlarındakı spektr tərkibinin analizi kifayət etdiyi üçün spektrin üçdə-bir oktava zolaqlarındakı (1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16 və 20 Hz) nəticələrini qeyd etmirik.

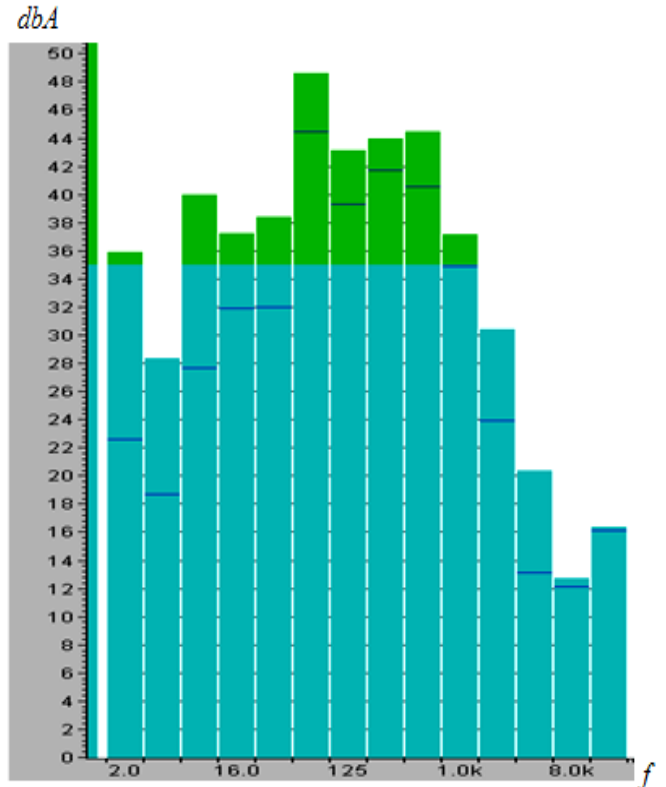


Şəkil 1. Nasosun səs səviyyəsinin xronoqramması.

Amplitud qrafikindən göründüyü kimi nasosun iş müddətində səs səviyyəsi istehsal sahələri üçün uyğun standart üzrə müəyyənləşdirilmiş yol verilən hədd (80 dbA) daxilindədir. Qrafikin əvvəlindəki maksimal səviyyə mühərrikin işə düşmə yükünün qısa müddətli artımı ilə bağlıdır. Sonrakı zaman intervalındakı dəyişmələr isə mühərrikin qida gərginliyi rejiminin dəyişməsi, şəbəkə gərginliyinin qeyri sabitliyi, eləcə də nasosun yükünün (vurulan sirkulyasiya dövrəsində su həcmnin) dəyişməsi ilə əlaqədardır. Göründüyü

kimi nasos yüksüz (suvurma dayandırılır) iş rejimində yaranan səs səviyyəsi 42 db-dən aşağı düşür.

Şəkil 2-də nasos işlədiyi zaman oktava zolaqlarında generasiya etdiyi səs təzyiqinin ekvivalent səviyyələrinin spektri (tezlik qrafiki) göstərilmişdir.



Şəkil 2. Oktava zolaqlarında səs təzyiqi səviyyələrinin spektri, dbA.

Şəkil 2-də göstərilən spektral ölçmələr İS tezlik zolağının işçilərin sağlamlığına təsirini qiymətləndirməyə imkan verir. Şəkildə həmçinin, sağlamlığa təsir xüsusiyyətlərini müqayisə etmək məqsədilə orta və yüksək tezlik zolağının (4000-1600 Hz) aşağı seqmentinin (4000-8000 Hz) spektrləri də qeyd edilmişdir. Cədvəl 2-də İS-in tezlik spektri, oktava tezliklərindəki səs təzyiqinin eşitmə aparatında yaratdığı təsiri obyektiv qiymətləndirmək üçün cədvəl 1-də nəzərdə tutulan korreksiyalar, təzyiq səviyyəsinin yol verilən həddən yüksək qiymətləri də göstərilmişdir. İS tezliklərində səs təzyiqi səviyyələrinin YVH-nin qiymətləri CH 2.2.4/2.1.8.583-96 sanitar normalarından [9], digər tezliklər üçün CH2.2.4/2.1.8.562-96 sanitar normalarından [10], oktava tezliklərinə edilən korreksiyalar [8]-dən götürülmüşdür. Qeyd edək ki, indiyədək ölkəmiz üçün bu sahədə milli standartlar və sanitar normaları işlənmədiyi üçün SSRİ vaxtında qəbul edilmiş normativ sənədlərdən istifadə edilir.

Cədvəldən göründüyü kimi, İS zolağında səs təzyiqinin qulağa real təsirini qiymətləndirmək məqsədilə küyölçənin göstəricilərinə 80 db əlavə edilir. 2-16 oktava zolaqlarına aid tezliklərin real səs təzyiqi yol YVH-dən artıqdır və akustik küy hesab edirlər. 16 və 8 Hz tezliklərinin yaratdığı küy daha güclüdür (uyğun olaraq YVH-dən 32 db və 30 db artıq) və sağlamlıq üçün daha təhlükəlidir.

CƏDVƏL 2. EKSPERİMENTAL TƏDQIQATLARIN ÜMUMİLƏŞDİRİLMİŞ NƏTİCƏLƏRİ.

Tezlik, Hz	Ölçü, dbA	Korr., db	Real səviyyə, dbA	Max. YVH, dbA	YVH-n artıq, dbA
2	36	80	116	100	16
4	28	80	108	95	13
8	49	80	120	90	30
16	38	80	118	85	33
32	39	42	81	80	1
63	48,4	26,3	74,7	95	N
125	43,8	16,1	59,9	87	N
250	44	8,6	52,6	82	N
500	44,2	4,2	47,2	78	N
1000	38	0	38	75	N
2000	31	1,2	32,2	73	N
4000	20,4	1,0	21,4	71	N
8000	13,6	1,1	14,7	69	N

Əşidilən aşağı və sonrakı zolaqlara aid tezlik artıqca küyölçənin ölçüləri səs təzyiqinin qulaqda yaratdığı real təsiri daha obyektiv əks etdirdiyi üçün hər növbəti tezliyə edilən korreksiyanın qiyməti də azalır. 32 Hz yuxarı tezliklərdə nasosun səs təzyiqi YVH daxilindədir və akustik küy hesab edilmir. Yəni, 1000 Hz-dən başlayaraq küyölçənin göstərişlərini təzyiqin qulaqda yaratdığı obyektiv göstəricilər kimi qəbul etmək olar.

IV. AKUSTİK KÜYDƏN BƏZİ MÜHAFİZƏ TƏDBİRLƏRİ HAQQINDA

Göründüyü kimi normadan artıq küy səviyyəsi bir sıra ciddi xəstəliklərin yaranmasına səbəb ola bilər. Ona görə də küyün ziyanlı təsirindən mühafizə məqsədilə kollektiv mühafizə vasitələrindən (KMV) və fərdi mühafizə vasitələrindən (FMV) istifadə edilir. KMV-in tətbiqi akustik-tikinti, arxitektura-planlaşdırma və şəhərsalma layihə sənədlərində nəzərdə tutulur və təşkilatı-texniki tədbirlərlə həyata keçirilir. İstifadədə olan infrastrukturda isə küy təsirinin azaldılmasının ən effektiv üsulları kimi

a) mənbələrin şüalandırdığı səs dalğaları intensivliyinin (gücünün) azaldılmasından,

b) küyün mühafizə olunan obyekt istiqamətində yayılma yolunda səs intensivliyini azaldan vasitələrdən (maneələrdən) istifadə edilir.

Ərazinin mövcud küy vəziyyəti və küy proqnozu haqqında texniki sənədləri ərazi-planlaşdırma üzrə layihə sənədləri paketinin mühüm tərkib hissələrindən birini təşkil edir. Ətrafın küy səviyyəsini KMV ilə azaltmaq (normallaşdırmaq) mümkün olmadıqda FMV tətbiqi edilir. FMV-in tətbiqində məqsəd insan orqanizmində səs-küyə ən həssas orqan olan qulağı, eləcə də sinir sistemini qorumaqdır. FMV-lərə antiküy tıxacları, qulaqlıqlar, şlemlər, kaska, dəbilqələr, xüsusi kostyumlar və s. daxildir. Qeyd edək ki, yuxarıda qeyd edilən bəzi xüsusiyyətlərinə görə İS-in yaratdığı akustik küydən qorunmaq daha çətinidir. Lakin bu məqsədlə hazırlanmış xüsusi mühafizə vasitələri də istehsal olunur. Qeyd edək ki, təcrübə tədqiqatları apardığımız istehsalat sahəsində küydən kollektiv mühafizə vasitələri quraşdırılmayıb. Eləcə də istər su nasosunun sınaq yoxlamalarını aparan işçilər, istərsə də güclü

küy mənbəyi olan digər avadanlıqların işçiləri küydən fərdi mühafizə vasitələrindən istifadə etmirlər. İşçilər akustik küyün sağlamlığa ziyanlı təsiri haqqında məlumatsızdırlar. Uzun illər bu sahədə çalışan bəzi işçilərin eşitmə qabiliyyətinin pisləşdiyi, yəni eşitmə həddinin yüksəldiyi aydın görünür. Apardığımız küy ölçmələri nəticələrinə əsasən işçilərin iş stajından, yaşından, ümumi küy şəraitindən və s. göstəricilərindən asılı olaraq beynəlxalq təşkilatların müvafiq təlimatlarından istifadə etməklə bir iki operatorun eşitmə həddinin pisləşmə dərəcəsi tərəfimizdən hesablanmışdır. Lakin eşitmə həddinin dəqiq müəyyənəndirilməsi məqsədilə işçilərin ətraflı audiometrik müayinələrdən keçirilməsi tövsiyə edilmişdir.

NƏTİCƏ

Məqalədə akustik küyün ətraf mühiti çirkləndirməsi və sağlamlığa ziyanlı təsiri məsələlərinə baxılmışdır. Aşağı zolaq tezlikləri küyünün yaratdığı bir sıra patoloji hallar araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, infrasəs tezliklərinin yol verən həddən artıq generasiya etdiyi səs təzyiqi səviyyəsi (küy) eşidilməyən və eşidilən səs siqnalları spektri çərçivəsində sağlamlıq üçün daha təhlükəlidir. Bu tezisi təsdiqləmək məqsədilə istehsalat sahəsindəki güclü infrasəs mənbəsinin işçilərə təsirini qiymətləndirmək üçün tərəfimizdən eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Tədqiqat nəticələri analiz edilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

- [1] World Health Organization, “Night noise guidelines for Europe”, 2017. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf?ua=1
- [2] International Labour Office, “Protection of workers against noise and vibration”, ILO Code of Practice, 2017. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/--safework/documents/normativeinstrument/wcms_107878.pdf, June., 2017.
- [3] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), USA. “Occupational Noise Exposure – Criteria for a Recommended Standard”, 2014. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/pdfs/98-6.pdf?id=10.26616/NIOSH/PUB98126>
- [4] Г.А. Суворов, Л.Н. Шкаринов, Э.И. Денисов, “Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. Москва: Медицина”, 1014, 240 с. https://ntm.ru/UserFiles/File/document/SHUM/NORM/SN2_2_42_1_8_562_96.pdf
- [5] B.S. Aghayev M.Y. Abdullayeva, I.A. Habibov, “Development of a methodology for monitoring acoustic noise using mobile phones for ordinary citizens”, Tallin, EUREKA: Physics and Engineering, 2023, 4, 180–188. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002845>
- [6] Baliatsas, I. van Kamp, R. van Poll, J. Yzermans & E. Lebre, “Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: A systematic review of empirical studies”, Environment International, 2020, 143, 105885, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105885>
- [7] В.Н. Зинкин, “Современные аспекты контроля и мониторинга инфразвука как вредного производственного фактора на транспорте и промышленных объектах”, Актуальные проблемы транспортной медицины, 2014, № 4, т.2 (38), с. 10-25.
- [8] “Борьба с шумом на производстве: Справочник”, Под общ. ред. Е.Я.Юдина, М.: Машиностроение, 1985, 400 с.
- [9] Санитарные нормы. СН 2.2.4/2.1.8.583-96. “Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки”.
- [10] Санитарные нормы. СН2.2.4/2.1.8.562-96. “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”.

Rəqəmsal Tibb İnfrastrukturunda Kiber İnsidentlər, Təhdidlər, Risklər və Onların İntellektual Analizi

Babək Nəbiyev¹, Könül Daşdəmirova²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹*babek.nabiyev@gmail.com*, ²*konulahmed@gmail.com*

Xülasə— Tezisdə səhiyyə sektoruna yönəlmiş kibertəhlükələr və onların yaratdığı problemləri təhlil edir. Tibbi kibertəhlükələrin əsas növləri araşdırılır, onların pasiyent təhlükəsizliyinə, fərdi və klinik məlumatların məxfiliyinə, səhiyyə infrastrukturunun stabil fəaliyyətinə təsiri araşdırılır. Rəqəmsal səhiyyə sistemlərinə yönəlmiş global miqyaslı kiberhücumlar və onların nəticələri təhlil edilir. Tibbi infrastrukturlarda kibertəhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün həyata keçiriləcək tədbirlər və yanaşmalar təqdim olunur. Səhiyyə sektorunda kibertəhlükələrin effektiv idarə olunması və pasiyent etimadının qorunması məqsədilə milli səviyyədə ixtisaslaşmış Tibbi CERT-nin yaradılması təklif edilir.

Açar sözlər—Səhiyyə sektorunda kibertəhlükəsizlik; tibbi məlumatların qorunması; fidyə (ransomware) hücumları; fişinq; DDoS; məlumat sızıntısı; pasiyent təhlükəsizliyi; GDPR; HIPAA; rəqəmsal tibb infrastrukturunu; Tibbi CERT

I. GİRİŞ

Rəqəmsal texnologiyaların geniş tətbiq olunduğu müasir dövrdə səhiyyə sektoru kiberhücumların hədəfinə çevrilmiş əsas sahələrdən biridir. Elektron sağlamlıq sistemlərinin, rəqəmsal pasiyent məlumat bazalarının və onlayn tibbi xidmətlərin tətbiqi səhiyyə sahəsində yeni imkanlar yaratsa da, eyni zamanda informasiya təhlükəsizliyi risklərini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Tibbi məlumatların yüksək həssaslığı, səhiyyə infrastrukturunun fasiləsiz fəaliyyəti və pasiyent təhlükəsizliyi ilə birbaşa bağlılığı bu sahəni kibercinayətkarlar üçün cəlbedici hədəfə çevirir [1]. Nəticədə, xəstəxana sistemlərinin fəaliyyətində fasilələr yaranması, pasiyent məlumatlarının oğurlanması, tibbi avadanlıqların funksionallığının pozulması və tibbi xidmətin keyfiyyətinin kəskin şəkildə aşağı düşməsi kimi ciddi fəsadlar müşahidə olunur. Bəzi hallarda kiberhücumlar birbaşa pasiyent həyatına təhlükə yaratmaqla yanaşı, səhiyyə müəssisələrinin nüfuzuna və ictimai etimada da zərbə vurur. Bundan əlavə, sistemlərin bərpası və itkilərin aradan qaldırılması böyük maliyyə və texniki resurslar tələb edir ki, bu da səhiyyə sektorunun davamlı fəaliyyətinə mənfi təsir göstərir [2].

Hazırda səhiyyə sektorunda baş verən kibersidentlər təkcə texniki deyil, həm də etik, hüquqi və sosial nəticələrə səbəb olan çoxşaxəli problemlər yaradır. Bu səbəbdən səhiyyə sistemlərində informasiya təhlükəsizliyi siyasətinin gücləndirilməsi, kibertəhlükəsizlik standartlarının tətbiqi və bu sahədə ixtisaslı kadr potensialının artırılması prioritet istiqamətlərdən birinə çevrilmişdir. Səhiyyə təşkilatları üçün kiber risklərin düzgün idarə edilməsi, pasiyent məlumatlarının

qorunması və xidmət davamlılığının təmin olunması getdikcə daha vacib məsələlərə çevrilir.

II. RƏQƏMSAL TİBB İNFRASTRUKTURUNDA BAŞ VERƏN QLOBAL KIBERTƏHLÜKƏLƏRİN NÖVLƏRİ

Tədqiqat çərçivəsində rəqəmsal tibbi infrastrukturunda müşahidə edilən əsas kibertəhlükələr kompleks və çoxistiqamətli yanaşma ilə araşdırılmışdır [3]. İlk növbədə, səhiyyə sahəsində rast gəlinən əsas kibertəhlükə kateqoriyaları müəyyən edilərək, hər bir hücum növünün pasiyentlərin təhlükəsizliyinə, məlumatların məxfiliyinə və səhiyyə xidmətlərinin davamlı fəaliyyətinə təsirləri təhlil olunmuşdur. Bundan əlavə, son illərdə global miqyasda baş vermiş irimiqyaslı tibbi kibersidentlər araşdırılaraq onların əməliyyat fəaliyyətində yaratdığı pozuntular, maliyyə itkiləri və digər ciddi nəticələr qiymətləndirilmişdir. Sonda isə mövcud kibertəhlükələrin qarşısının alınması və insidentlərin effektiv idarə edilməsi məqsədilə mövcud yanaşmalar və tətbiq edilən texnologiyalar – xüsusən CERT (Computer Emergency Response Team) kimi xüsusi cavab qrupları və SIEM (Security Information and Event Management) sistemlərinin tətbiqi nəzərdən keçirilmişdir [4].

Aparılmış təhlillər nəticəsində rəqəmsal tibb sahəsində əsas kibertəhlükə kateqoriyaları aşağıdakı kimi təsnif edilmişdir [5, 6]:

- Fidyə proqramı hücumları (ransomware): Hakerlər tərəfindən zərərli fidyə proqramının tibbi müəssisələrin serverlərinə və elektron qeyd sistemlərinə yerləşdirilərək məlumatların şifrələnməsi və sonradan açılması üçün fidyə tələb olunması ilə xarakterizə olunur. Belə hücumlar tibbi xidmətin fasiləsizliyini pozur və pasiyent təhlükəsizliyi baxımından ciddi təhdid yaradır.
- Məlumat oğurluğu: Xəstəxana və klinikalarda saxlanılan fərdi və klinik məlumatlar kibercinayətkarlar tərəfindən oğurlanaraq ya qara bazarda satılır, ya da şantaj və digər bədənyyətli məqsədlərlə istifadə olunur. Nəticədə pasiyent məxfiliyi pozulur və hətta hüquqi müstəvidə ciddi risklər meydana çıxır.
- Fişinq hücumları: Klinika əməkdaşlarına göndərilən saxta elektron məktublar və ya mesajlar vasitəsilə onların sistem giriş məlumatlarının ələ keçirilməsinə yönəlmiş hücumlardır. Bu yolla kiberdələduzlar sanki legitim görsənən məlumatlar vasitəsilə işçiləri aldataraq

sistemə daxil olur və həssas tibbi məlumatlara icazəsiz çıxış əldə edirlər.

- DDoS hücumları (xidmətdən imtina hücumları): Tibbi müəssisələrin veb-saytlarının və onlayn xidmətlərinin eyni anda çoxlu sayda sorğu ilə yüklənməsi nəticəsində sistemin fəaliyyətinin dayanmasına və xidmətlərin əlçatmaz olmasına səbəb olan hücumlardır. Bu, xüsusilə onlayn təcili xidmətlər və məlumat mübadiləsi üçün kritik əhəmiyyət daşıyan resursları iflic vəziyyətinə sala bilər.
- Zəifliklərin istismarı: Tibbi avadanlıqların və proqram təminatının məlum texniki boşluqlarını (zəifliklərini) hədəfə alan hücumlardır. Kibercinayətkarlar mövcud boşluqlardan istifadə edərək tibbi cihazların funksionallığını pozur və ya onları öz nəzarətinə keçirə bilirlər. Nəticədə həyati əhəmiyyətli tibbi aparatların (məsələn, süni tənəffüs cihazlarının) işi dayana və ya yanlış yönləndirilə bilər.
- İnsider təhdidlər: Səhiyyə müəssisəsinin daxilindən qaynaqlanan təhlükələrdir. Bura bilərəkdən və ya bilməyərəkdən işçilər tərəfindən məlumatların sızdırılması, sistemlərin pozulması kimi hallar daxildir. Daxili nəzarət mexanizmlərinin zəifliyi səbəbindən ortaya çıxan bu cür insidentlər informasiya təhlükəsizliyi baxımından xüsusi diqqət tələb edir.

Yuxarıda qeyd olunan kibertəhlükə formaları səhiyyə sisteminin dayanıqlığına, pasiyentlərin hüquqlarına və ümumən cəmiyyətin informasiya təhlükəsizliyinə ciddi mənfi təsir göstərir. Aparılmış təhlillər göstərir ki, belə hücumlar nəticəsində tibbi informasiya sistemlərinin fəaliyyətinin pozulması və dayanması, təcili tibbi xidmətlərin gecikməsi və ya tamamilə dayandırılması, eləcə də kritik tibbi cihazların işləməməsi hallarına rast gəlinir. Bu kimi vəziyyətlər birbaşa pasiyentlərin həyatı və sağlamlığını risk altına qoyur. Məlumat oğurluğu nəticəsində pasiyent məxfiliyinin pozulması ilə yanaşı, təşkilatlar GDPR və HIPAA kimi beynəlxalq normativ aktların tələblərini pozmuş olurlar, bu da hüquqi sanksiyalara və cərimələrə səbəb olmaqla yanaşı, səhiyyə müəssisələrinin nüfuzuna xələl gətirir [7]. Bundan əlavə, kibercinayətkarların fəsadlarının aradan qaldırılması böyük maliyyə itkiləri ilə müşayiət olunur: bəzi hallarda qurumlar sistemi bərpa etmək və ya şifrələnmiş məlumatları açmaq üçün fidyə ödəməyə məcbur qalırlar, xidmətlərin dayanması isə əlavə iqtisadi zərərlər doğurur. Beləliklə, tibbi kibertəhlükələr həm birbaşa tibbi xidmətin keyfiyyətini və pasiyent təhlükəsizliyini, həm də dolayısı ilə hüquqi və maliyyə dayanıqlığını təhdid edir.

Kibertəhlükələrin sürətlə yayıldığı bir şəraitdə tibbi müəssisələrdə kiberrisiklərin qiymətləndirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Hazırda elektron tibbi infrastrukturlarda kiber risklərin qiymətləndirilməsi üçün NIST, ISO/IEC 27005, OCTAVE və FAIR kimi tanınmış beynəlxalq metodologiyalardan istifadə olunur [8].

ABŞ Milli Standartlar və Texnologiya İnstitutu (NIST) tərəfindən təqdim edilən NIST Risk Management Framework (RMF) metodologiyası ən çox tətbiq edilən yanaşmalardan biridir. Bu metodologiya tibbi infrastrukturun fəaliyyət dövrü boyunca risklərin idarə olunmasına imkan verir. Xüsusilə, NIST

SP 800-30 və SP 800-37 sənədləri risklərin müəyyənləşdirilməsi, ehtimal və nəticələrin təhlili, riskin qiymətləndirilməsi və onun azaldılması proseslərini əhatə edir.

ISO/IEC 27005 standartı da geniş istifadə olunan yanaşmalardan biridir. Bu standart, ISO/IEC 27001 və 27002 ilə inteqrasiya edilə bilən informasiya təhlükəsizliyi idarəetmə sistemləri çərçivəsində risklərin müəyyən edilməsi, təhlili, qiymətləndirilməsi və idarə olunması üçün əlverişli mexanizmlər təqdim edir.

Məhdud resurslara malik kiçik təşkilatlar üçün isə OCTAVE (Operationally Critical Threat, Asset, and Vulnerability Evaluation) metodologiyası daha uyğun sayılır [9]. Bu yanaşma təşkilat üçün kritik əhəmiyyət daşıyan informasiya resurslarını, onlara qarşı mövcud təhlükələri və zəiflikləri müəyyən etməyə imkan verir.

Səhiyyə sektoru üçün ISO/IEC 27005 və NIST SP 800-30 metodlarının birgə tətbiqi, xüsusilə fərdi tibbi məlumatların mühafizəsi sahəsində daha effektiv və praktik hesab olunur.

III. DÜNYA ÜZRƏ BAŞ VERMİŞ ƏSAS TİBBİ KİBERTƏHLÜKƏLƏR VƏ INSİDENTLƏR

Rəqəmsal tibbi infrastrukturlara yönəlmiş təhdidlərin analizi göstərir ki, tibbi informasiya sistemlərinə qarşı kibercinayətkarlıqların həm sayı, həm də təsir dairəsi əhəmiyyətli dərəcədə artmaqdadır. 2017-ci ilin may ayında baş vermiş WannaCry fidyə proqramı hücumu 150-dən çox ölkəni əhatə edən global kibercinayətkarlıq hadisəsi olmuşdur [10]. Bu hücumdan ən çox zərər çəkən qurumlardan biri Böyük Britaniyanın Milli Səhiyyə Xidməti (NHS) olmuşdur. Minlərlə xəstəxana kompüterləri şifrələnmiş, təcili tibbi yardım da daxil olmaqla bir çox xidmət iflic vəziyyətinə düşmüş və 19 minə yaxın tibbi görüş ləğv edilmişdir. Hadisə nəticəsində NHS milyonlarla funt sterlinq dəyərində maliyyə itkisinə uğramış və milli səhiyyə sisteminə ciddi əməliyyat pozuntuları yaranmışdır.

2020-ci ildə ABŞ-da fəaliyyət göstərən və 400-dən çox xəstəxana və klinikanı birləşdirən Universal Health Services (UHS) şəbəkəsi genişmiqyaslı fidyə hücumuna məruz qalmışdır [11]. Hücum nəticəsində UHS-in elektron sistemləri tamamilə sıradan çıxmış, tibb personalı müvəqqəti olaraq kağız əsaslı sənəd dövriyyəsinə keçməyə məcbur olmuşdur. Nəticədə təcili tibbi yardım da daxil olmaqla bir çox kritik xidmətlərin göstərilməsində gecikmələr baş vermiş və sistemlərin bərpası təşkilata 67 milyon ABŞ dollarından çox zərər vurmuşdur. Digər bir əhəmiyyətli hadisə 2018-ci ildə Sinqapurun ən iri səhiyyə təminatçısı olan SingHealth qurumunda baş vermiş məlumat sızıntısıdır. Bu hücum zamanı 1,5 milyon pasiyentin (o cümlədən Sinqapur Baş nazirinin) fərdi tibbi məlumatları oğurlanmış və bir qismi qara bazarda satışa çıxarılmışdır. Hadisədən sonra xəstəxananın bütün informasiya təhlükəsizliyi protokolları yenidən nəzərdən keçirilmiş və ciddi islahatlar aparılmışdır.

2021-ci ildə ABŞ-da Scripps Health adlı səhiyyə təşkilatı kibercinayətkarlığa məruz qalaraq dörd həftə ərzində fəaliyyətini qismən dayandırmağa məcbur olmuşdur. Ransomware hücumu nəticəsində Scripps-in elektron sağlamlıq qeydləri (EHR) sistemləri işləməz hala düşmüş, pasiyentlərin müalicə prosesində ciddi fasilələr yaranmış və 113 mindən çox pasiyent

məlumatı sızmışdır. Bu insidentin təşkilatı vurduğu maliyyə zərəri 112 milyon ABŞ dollarını keçmişdir.

Avropa ölkələri də oxşar təhlükələrlə üzləşmişdirlər. 2021-2022-ci illərdə Fransanın bir sıra xəstəxanalarına qarşı ardıcıl DDoS və fidyə hücumları həyata keçirilmişdir. Xüsusilə, 2022-ci ildə baş vermiş bir hadisədə Paris regionundakı Corbeil-Essonnes xəstəxanası kiberhücum səbəbindən fəaliyyətini tamamilə dayandırmalı olmuş və bəzi pasiyentlərin digər tibb müəssisələrinə təxliyə edilməsi tələb olunmuşdur. Hücumun yaratdığı birbaşa zərər 10 milyon avrodan çox dəyərləndirilmişdir.

Baş vermiş qlobal insidentlər göstərir ki, kibertəhlükələr səhiyyə sistemi üçün beynəlxalq miqyasda real təhdid təşkil edir və hər bir ölkənin səhiyyə infrastrukturunu bu cür hücumlardan ciddi şəkildə zərər görə bilər. Nəticədə, tibbi kibertəhlükələrlə mübarizə mövzusu bütün dünyada səhiyyə sektorunun gündəmində olan kritik məsələlərdən birinə çevrilmişdir. Belə şəraitdə səhiyyə infrastrukturunda kibertəhlükəsizliyin təmin olunması kompleks və çoxşaxəli yanaşma tələb edir. Rəqəmsallaşma prosesinin sürətlənməsi və tibbi xidmətlərin elektron resurslardan asılılığının artması şəraitində tibbi məlumatların və sistemlərin mühafizəsi strateji əhəmiyyət kəsb edir. Effektiv kibermüdafiə üçün həm hər bir səhiyyə müəssisəsi səviyyəsində, həm də sektoral (milli) səviyyədə ardıcıl tədbirlər həyata keçirilməlidir.

İlk növbədə, hər bir səhiyyə təşkilatı daxilində proaktiv təhlükəsizlik tədbirləri planlaşdırılmalıdır. Rəqəmsal tibb infrastrukturunu üçün təhlükəsizlik strategiyasının hazırlanması əsas şərtlərdəndir. Müəssisələr öz kiber risk profillərini dəyərləndirməli, mövcud texnoloji infrastrukturunu nəzərə alaraq uyğun təhlükəsizlik siyasəti formalaşdırılmalıdır. Bu istiqamətdə atılacaq başlıca addımlar aşağıdakılardır:

- Risk əsaslı təhlükəsizlik siyasəti: Hər bir tibb müəssisəsi informasiya təhlükəsizliyi siyasətini və prosedurlarını tərtib etməlidir. Potensial təhdid və zəiflikləri öncədən müəyyən etmək üçün mütəmadi risk analizləri aparılmalı, insidentlərə qarşı fəvqəladə hallara cavab planları hazırlanmalıdır. Risklərin davamlı izlənməsi və yenidən qiymətləndirilməsi sayəsində qurum mümkün hücumlardan əvvəlcədən xəbərdar olub müvafiq qabaqlayıcı addımlar atə bilər.
- Texniki infrastrukturun gücləndirilməsi: Tibbi sistemlərdə informasiya texnologiyalarının müdafiəsi ən müasir tələblərə uyğun qurulmalıdır. Xüsusilə, şəbəkə mühiti güclü firewall və müdafiə divarları, antivirus və antispyware proqramları ilə qorunmalıdır. Kritik server və məlumat bazaları real vaxt rejimində monitoring edilərək Security Information and Event Management (SIEM) kimi platformalar vasitəsilə loqların analizi həyata keçirilməlidir. Elektron Sağlamlıq Qeydləri (EHR) kimi kritik məlumat sistemləri mütləq şəkildə şifrəlməli, müntəzəm ehtiyat nüsxələri alınmalı və etibarlı mühitlərdə saxlanılmalıdır. Köhnəlmiş və dəstək almayan tibbi avadanlıq və proqramlar vaxtında yenilənməli və ya

müasir ekvivalentlərlə əvəzlənməlidir ki, texniki boşluqlar minimal olsun.

- İnsan amilinə qarşı tədbirlər: Tədqiqatlar göstərir ki, səhiyyə sektorunda kiberinsidentlərin əhəmiyyətli bir qismi insan səhvlərindən qaynaqlanır. Bu səbəbdən, səhiyyə personalının kiber gigiyena qaydaları barədə məlumatlılığını artırmaq vacibdir. Mütəmadi olaraq bütün səviyyələrdə – həkimlər, tibbi heyət, inzibati personal və IT mütəxəssisləri üçün kibertəhlükəsizlik üzrə təlimlər və maarifləndirmə sessiyaları keçirilməlidir. Belə proqramlar fişinq hücumlarına qarşı ayıq-sayıqlığı, güclü parol siyasətinə riayət etməyi, sosial mühəndislik cəhdlərini tanıma bacarığını aşılayır. Nəticədə istifadəçilərin fərdi məsuliyyəti yüksəlir və ümumilikdə təşkilatın təhlükəsizlik mədəniyyəti formalaşır.

Hazırda bir çox sahələrdə olduğu kimi, səhiyyə sektorunda da, xüsusilə rəqəmsal tibbi infrastrukturların kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsində süni intellekt (Sİ) texnologiyalarından geniş istifadə olunur. Süni intellekt alqoritmləri real vaxt rejimində şəbəkə trafikini, istifadəçi davranışlarını və sistem hadisələrini analiz edərək şübhəli fəaliyyətləri vaxtında aşkarlamaq imkanına malikdir. Bu texnologiyalar eyni zamanda həssas tibbi məlumatların şifrələnməsini təmin edir və elektron tibbi qeydlərə icazəsiz girişlərin qarşısını almaqda mühüm rol oynayır.

Maşın təlimi əsaslı yanaşmalar fişinq hücumları və qeyri-normal davranışları yüksək dəqiqliklə müəyyən edərək, potensial məlumat sızmaları barədə qabaqlayıcı xəbərdarlıqlar təqdim edir. Sİ əsaslı sistemlər tibbi IT infrastrukturunu davamlı şəkildə təhlil edir, zəif parolları, qorunmamış və ya düzgün konfigurasiya olunmamış IoT cihazlarını müəyyənəşdirərək potensial hücum vektorlarını proqnozlaşdırır və bu risklərə qarşı avtomatlaşdırılmış cavab tədbirləri həyata keçirir.

Xüsusilə pasiyentlərin təhlükəsizliyi təmin olunması baxımından kritik əhəmiyyətə malik olan IoT cihazların qorunması sahəsində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi prioritet təşkil edir. Bu texnologiyalar cihazların davranış modellərinə nəzarət edir, məsələn, məlumatların icazəsiz olaraq xarici resurslara ötürülməsi kimi şübhəli halları aşkar edir və bu cür zərərli fəaliyyətləri dərhal bloklayır [12].

Bununla yanaşı, süni intellekt səhiyyə işçiləri üçün təlim və maarifləndirmə platformalarının hazırlanmasında da istifadə olunur. Belə platformalar işçilərin rəqəmsal savadlılığını artırmaq, onların kibertəhlükəsizlik sahəsində bilik və bacarıqlarını qiymətləndirmək və fərdi inkişaf planları təklif etmək üçün effektiv alətlə çevrilmişdir.

Yuxarıdakı tədbirlər hər bir müəssisə səviyyəsində tətbiq edilməli olsa da, səhiyyə sektorunun kibertəhlükələrə qarşı dayanıqlılığını təmin etmək üçün sektoral (ölkə miqyasında) koordinasiya yanaşmaya ehtiyac vardır.

Bu kontekstdə, milli səviyyədə ixtisaslaşmış Tibbi CERT (Computer Emergency Response Team) strukturunun yaradılması vacib hesab olunur (şəkil 1).

Tibbi CERT – səhiyyə sahəsinə yönəlmiş kibermühitin qorunması üçün ixtisaslaşmış operativ cavab və koordinasiya qrupudur.

Belə bir qurum səhiyyə sektorunda baş verən kiberinsidentlərə qarşı vahid mərkəzdən, koordinasiyalı şəkildə cavab verilməsini təmin edə bilər.

Tibbi CERT eyni zamanda sektorda kiber təhlükə kəşfiyyatı (threat intelligence) funksiyasını icra edərək, aktual təhdidlər barədə məlumat mübadiləsini sürətləndirir və zəruri xəbərdarlıqları bütün səhiyyə şəbəkəsinə çatdırır. Bu cür milli koordinasiya qurumu səhiyyə sektorunda kibertəhlükəsizliyin idarə olunmasında mərkəzi rol oynayaraq, ayrı-ayrı tibb müəssisələrinin resurs və bilgi mübadiləsini də asanlaşdırır.

IV. KIBERTƏHLÜKƏSİZLIYIN TƏMIN OLUNMASINDA TIBBI CERT-IN ƏSAS FUNKSIYALARI

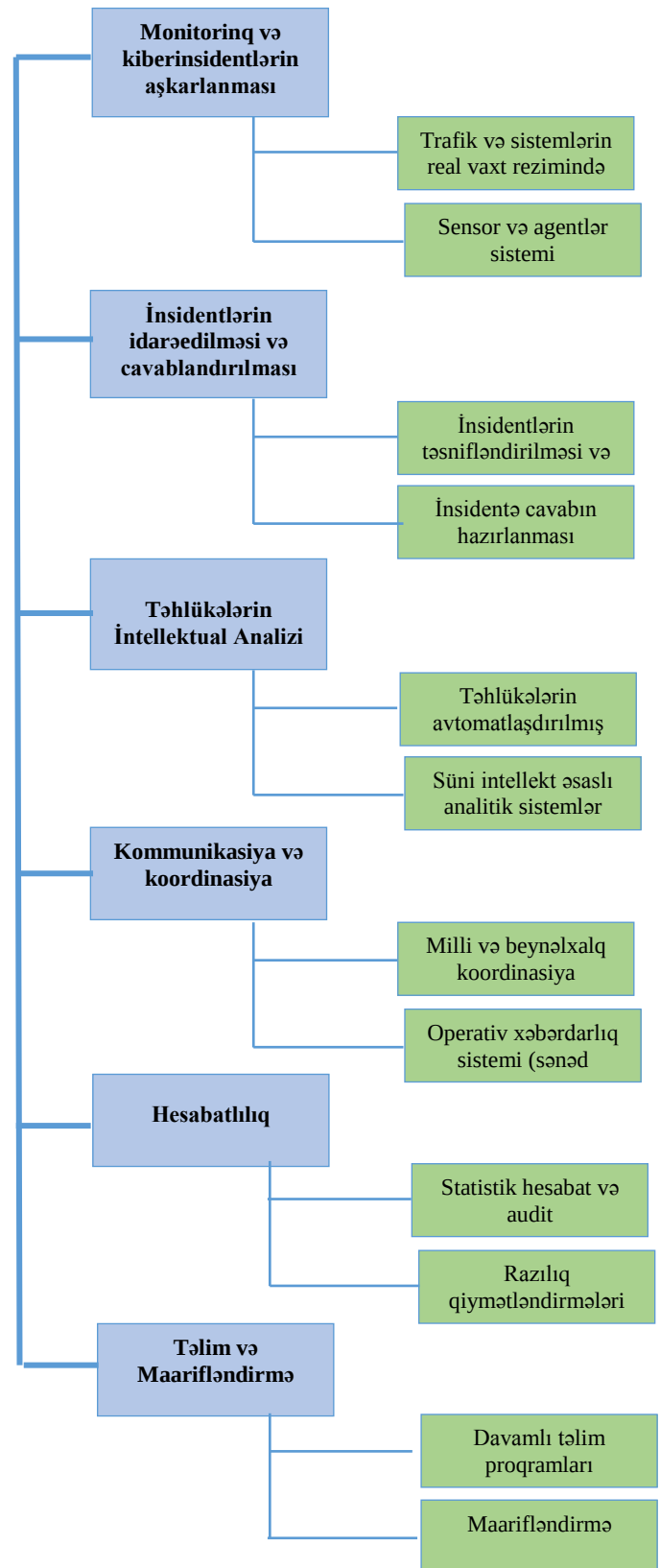
Təklif olunan Tibbi CERT-in əsas funksional istiqamətlərini aşağıdakı kimi ümumiləşdirmək olar:

- Real vaxt rejimində monitoring və insident reaksiyası: Tibbi CERT səhiyyə təşkilatlarının şəbəkə və sistemlərini 24/7 rejimində izləyərək kiberinsidentləri erkən mərhələdə aşkarlamalı və təsnif etməlidir. Aşkarlanmış hücumlara (istər fidyə, istər fişinq, DDoS və s.) operativ texniki cavab tədbirləri görülməlidir – zərərverici fəaliyyətlər dərhal bloklanmalı, yoluxmuş sistemlər təmizlənməli, və zəruri hallarda müvəqqəti alternativ həllər tətbiq olunmalıdır. Bu cür operativ reaksiya sayəsində hücumların təsiri minimuma endirilər və tibbi xidmətlərin fasiləsizliyi mümkün qədər tez bərpa olunur.

- Təhlükələrin intellektual analizi və zəifliklərin aşkarlanması: Tibbi CERT kibertəhlükə kəşfiyyatı (Cyber Threat Intelligence) mərkəzi rolunda çıxış edərək səhiyyə sektoruna yönəlmiş aktual təhdid vektorlarını, yeni ortaya çıxan zəiflikləri və hücum metodlarını izləyir. Topladığı məlumatları təhlil edərək aidiyyəti təşkilatlarla paylaşır. Bu prosesdə SIEM texnologiyalarının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır – SIEM platforması vasitəsilə müxtəlif sistemlərin loqları toplanıb korelyasiya olunur, anomaliyalar avtomatik aşkarlanır, risklərin dərəcəsi qiymətləndirilir və xəbərdaredici siqnallar yaradılır. Beləliklə, mümkün hücumlar baş vermədən öncə müəyyən edilə və qabaqlayıcı texniki tədbirlər həyata keçirilə bilər. Bu intellektual analiz komponenti rəqəmsal tibb infrastrukturunun dayanıqlığını təmin etmək baxımından mühüm rol oynayır.

- Kibertəhlükəsizlik üzrə təlim və maarifləndirmə: Tibbi CERT, həm səhiyyə işçilərinin (həkimlər, tibb bacıları və s.), həm də IT heyətinin kibertəhlükələrə qarşı bilik və bacarıqlarını artırmaq üçün müntəzəm təlim proqramları həyata keçirməlidir. Simulyasiya edilmiş kiberhücum ssenariləri, praktiki seminarlar və maarifləndirmə kampaniyaları vasitəsilə tibbi personalın kibertəhdidlərə hazırlıq səviyyəsi yüksəldilir. Nəticədə, sektordakı insan amilindən qaynaqlanan risklər azalır və insidentlərə qarşı institusional kollektiv immunitet güclənir.

- Beynəlxalq və sektorarası əməkdaşlıq: Tibbi CERT yalnız lokal səhiyyə müəssisələri ilə deyil, həm də global kibertəhlükəsizlik şəbəkələri ilə sıx əməkdaşlıq qurmalıdır. Dünyada fəaliyyət göstərən FIRST (Forum of Incident Response and Security Teams), US-CERT, WHO Health CERT kimi insident cavab şəbəkələri və Avropa İttifaqının ENISA



Şəkil 1. Tibbi CERT-in strukturu.

(European Union Agency for Cybersecurity) kimi qurumları ilə informasiya mübadiləsi aparmaq vacibdir. Bu əməkdaşlıqlar sayəsində transsərhəd xarakterli kibertəhdidlər barədə operativ məlumat alına bilər və beynəlxalq hücum kampaniyalarına qarşı çevik reaksiya verilməsi mümkün olar. Həmçinin, Tibbi CERT vasitəsilə ölkədaxili müxtəlif sektorlar (məsələn, enerji, telekommunikasiya və s.) arasında da kiber təhdidlərə dair koordinasiya aparıla bilər ki, səhiyyə ilə əlaqəli infrastrukturun qorunması daha hərtərəfli təmin edilsin. Standartların və siyasətlərin formalaşdırılması: Tibbi CERT səhiyyə müəssisələrinə kibertəhlükəsizlik sahəsində metodoloji dəstək göstərərək sektorda vahid standartların formalaşdırılmasına yardım edə bilər. Bu, tibb sektorunda informasiya təhlükəsizliyi üzrə normativlər, protokollar və ən yaxşı təcrübələrin hazırlanmasını və tətbiqini əhatə edir. Belə texniki-məsləhət dəstəyi nəticəsində səhiyyə təşkilatlarının informasiya təhlükəsizliyi üzrə uyğunluq (compliance) səviyyəsi yüksəlir və milli kibertəhlükəsizlik strategiyalarına sektorial inteqrasiya güclənir.

Beynəlxalq təcrübə də göstərir ki, səhiyyə sektoruna özəl kibertəhlükəsizlik qurumlarının yaradılması effektiv nəticələr verə bilər. Məsələn, Amerika Birləşmiş Ştatlarında səhiyyə sektorunun kibertəhlükələrə qarşı müdafiəsi Health Sector Cybersecurity Coordination Center (HC3) adlı ixtisaslaşmış mərkəz tərəfindən əlaqələndirilir [13]. ABŞ Səhiyyə və İnsan Xidmətləri Departamentinin (HHS) nəzdində fəaliyyət göstərən HC3 xəstəxana və klinikalara kibertəhdidlər barədə operativ bildirişlər göndərir, analitik hesabatlar hazırlayır və sektor daxilində informasiya mübadiləsini təşkil edir. Almaniyada səhiyyə sahəsində kiber müdafiə üçün De.CERT Gesundheit adlı xüsusi CERT strukturundan istifadə olunur [14]. Bu qurum ölkənin səhiyyə sisteminə aid təşkilatlara insidentlərin aşkarlanması, texniki müdaxilə, zəifliklərin analizi və personalın təlimi sahələrində dəstək verir. Avropa İttifaqı miqyasında isə ENISA agentliyi səhiyyə də daxil olmaqla müxtəlif kritik sektorlar üzrə kibertəhlükəsizlik strategiyalarının hazırlanmasına töhfə verir və üzv ölkələr arasında informasiya təhlükəsizliyi mexanizmlərinin uzlaşdırılmasına yardım edir [15]. Bu nümunələr göstərir ki, tibbi sahədə ixtisaslaşmış kibertəhlükəsizlik komandalarının fəaliyyəti beynəlxalq miqyasda artıq praktikaya çevrilməkdədir və ölkəmiz üçün də belə bir strukturun formalaşdırılması aktualdır.

NƏTİCƏ

Rəqəmsal tibbi infrastrukturların sürətli inkişafı fonunda kibertəhlükəsizlik səhiyyə sektorunun ən vacib çağırışlarından birinə çevrilmişdir. Tədqiqatda aparılan təhlillər göstərir ki, rəqəmsal tibb mühitində kiber insidentlərin potensial təsiri çox ağır ola bilər. Pasiyentlərin həyatı təhlükəsizliyi, məlumat məxfiliyi, xidmətlərin fasiləsizliyi və s. kimi sahələri əhatə edən geniş spektrli risklər mövcuddur. Səhiyyə təşkilatlarının bu təhdidlərə qarşı dayanıqlı olması üçün sistemli və inteqrasiya edilmiş yanaşma zəruridir. Əldə olunan nəticələrə əsasən, tibbi kibertəhlükələrə qarşı mübarizədə həm texnoloji, həm təşkilati, həm də insan faktorunu əhatə edən kompleks tədbirlər görülməlidir. Hər bir tibb müəssisəsində güclü informasiya təhlükəsizliyi mədəniyyəti formalaşdırılmalı, qabaqlayıcı texniki həllər tətbiq olunmalı və personal mütəmadi təlimləndirilməlidir. Bununla yanaşı, sektoral səviyyədə vahid koordinasiya mexanizminin – Tibbi CERT-in yaradılması –

səhiyyə şəbəkəsində məlumat mübadiləsinin sürətləndirilməsi, insidentlərə operativ cavab verilməsi və ümumi kiberdayanıqlığın artırılması baxımından mühüm addımdır. Nəticə etibarilə, təklif edilən yanaşmaların həyata keçirilməsi rəqəmsal tibb infrastrukturunda baş verən kiber insidentlərin sayını və təsirini minimuma endirməyə imkan verəcəkdir. Bu isə pasiyentlərin etimadının qorunmasını, tibbi xidmətlərin fasiləsizliyini və rəqəmsal səhiyyə innovasiyalarının davamlı olaraq təhlükəsiz şəkildə tətbiqini təmin edəcəkdir. Səhiyyə sektorunda kibertəhlükəsizliyin gücləndirilməsi üçün davamlı səylər göstərilməli və yeni ortaya çıxan təhdidlərə uyğun olaraq strategiyalar mütəmadi şəkildə yenilənməlidir. Yalnız bu halda rəqəmsal səhiyyənin verdiyi imkanlardan tam faydalanmaqla yanaşı, həmin infrastrukturun təhlükəsizliyini və dayanıqlılığını təmin etmək mümkün olacaqdır.

İSTINADLAR

- [1] A. A. Попова, К. В. Парфенов, А. Р. Алборов, “Угрозы информационной безопасности в государственном секторе России,” Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2024, Т. 17. №. 4. pp.77-93.
- [2] K. S. Bhosale, M. G. A. Nenova, G. Iliev, “A study of cyber attacks: In the healthcare sector //2021 sixth junior conference on lighting,” IEEE, 2021, pp. 1-6.
- [3] P. Yeng et al, “SecHealth: Enhancing EHR Security in digital health transformation,” Proceedings of the 8th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology. 2023, pp.538-544.
- [4] R. Alguliyev, B. Nəbiyev, K. Dəşdəmirova, “CTI Challenges and Perspectives as a Comprehensive Approach to Cyber Resilience,” 2023 5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI). IEEE. 2023, pp.1-5.
- [5] M. Nandan et al, “Telemedicine (e-Health, m-Health): Requirements, Challenges and Applications,” Designing Intelligent Healthcare Systems, Products, and Services Using Disruptive Technologies and Health Informatics. 2022, pp.1-25.
- [6] E. A. Al-Qarni, “Cybersecurity in healthcare: A review of recent attacks and mitigation strategies,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2023, pp.135-140
- [7] R. Preston, “Stifling innovation: how global data protection regulation trends inhibit the growth of healthcare research and start-ups,” Emory Int'l L. Rev. 2022, T. 37. pp. 135.
- [8] S. Memon et al., “Cyber security risk assessment methods for smart healthcare,” 2024 IEEE 1st Karachi Section Humanitarian Technology Conference (KHI-HTC). IEEE, 2024., pp. 1-6.
- [9] C. J. Alberts et al., “Operationally critical threat, asset, and vulnerability evaluation (OCTAVE) framework,” version 1.0, 1999.
- [10] M. A. Branquinho, “Ransomware in industrial control systems. What comes after Wannacry and Petya global attacks?,” WIT Trans. Built Environ. 2018, pp. 329-334.
- [11] T. I. Adeyinka, K. I. Adeyinka, “Reducing the Carbon Footprint in Healthcare Cybersecurity Threats in AI-Powered Healthcare Systems Data Privacy in AI-Driven Diagnostics,” AI-Driven Healthcare Cybersecurity and Privacy. IGI Global Scientific Publishing, 2025, pp. 283-326.
- [12] A. H. Ameen, M. A. Mohammed, A. N. Rashid, “Dimensions of artificial intelligence techniques, blockchain, and cyber security in the Internet of medical things: Opportunities, challenges, and future directions,” Journal of Intelligent Systems, 2023, T. 32, №. 1. p. 20220267.
- [13] Health Sector Cybersecurity Coordination Center (HC3), <https://www.hhs.gov/about/agencies/asa/ocio/hc3/index.html>
- [14] Internetpräsenz der WIESO CERT, <http://www.wieso-cert.de/>
- [15] ENISA is the EU agency dedicated to enhancing cybersecurity in Europe, <https://www.enisa.europa.eu/>

Beyin-Kompüter İnterfeysinin Tibbdə Tətbiqləri: Mövcud Vəziyyəti və Perspektivləri

Məmməd Həşimov

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
mamedhashimov@gmail.com

Xülasə— Beyin-kompüter interfeysi (BKİ) bir-birini qarşılıqlı şəkildə tamamlayan insan beyini ilə kompüter arasında əlaqə sistemidir. Bu interfeys insan bədəninin sinir-əzələ sistemi ilə deyil, onun zehni fəaliyyətinin köməyi ilə əlaqənin qurulmasına imkan verir. Təqdim olunan məqalədə BKİ-nin tibb sahəsində tətbiqlərinə baxılmışdır. Bu məqsədlə məqalədə BKİ-nin mövcud vəziyyəti və gələcək perspektivləri barədə məlumat verilmişdir. BKİ-nin arxitekturası təhlil edilmiş, beyindən siqnalların alınması üsulları və texnikaları araşdırılmış, həmin siqnallar vasitəsilə cihazların işləmə prinsipi təqdim edilmişdir. BKİ-nin klinik tətbiqləri ilə bağlı həyata keçirilən təcrübələr və onlardan əldə olunan nəticələr göstərilmişdir. BKİ-nin laboratoriya mühitindən real həyat tətbiqetmələrinə keçməsi üçün bu sahədə mövcud olan problemlər analiz edilmişdir.

Açar sözlər: beyin-kompüter interfeysi, elektroensefaloqrafiya, beyin kompüter interfeysinin arxitekturası, beyin kompüter interfeysinin klinik tətbiqləri, beyin kompüter interfeysi problemləri.

I. GİRİŞ

Uzun illərdir ki, bir çox tədqiqat mərkəzlərində insan beyini ilə müxtəlif cihazlar arasında birbaşa əlaqənin qurulması istiqamətində intensiv tədqiqat işləri aparılır. Bu tədqiqatlar beyin siqnalları vasitəsilə insan beyini ilə kompüterlər, əlil arabaları, protez cihazları və digər alətlərin idarə olunması məqsədilə həyata keçirilmişdir. Məhz buradan "Beyin-kompüter interfeysi" termini meydana gəlmişdir [1].

BKİ müəyyən bir obyekt və ya cihazın insan beyini vasitəsilə birbaşa idarə edilməsi məqsədilə əlaqəni təmin edir. Beyində baş verən fiziki prosesləri dəqiq şəkildə izləyən sensorların köməyi ilə beyindən məlumatın əldə edilməsi və istənilən cihazın proqram təminatı vasitəsilə idarə olunması mümkündür. İnsan beyini təqribən 100 milyard neyronlardan ibarət mürəkkəb bir şəbəkədən təşkil olunmuşdur. İnsan düşünərkən, hərəkət edərkən, nəyisə hiss edərkən və ya xatırlayarkən neyronlar işləyir və elektrik siqnallarını göndərməklə beyinə və ya beyindən məlumatın ötürülməsini həyata keçirir. Həmin elektrik siqnallarını müxtəlif texnologiyaların köməyi ilə aşkar edib cihazın, maşının, kompüterin idarə olunması məqsədilə istifadə etmək olar [2].

BKİ insan beyini ilə xarici cihazlar arasında birbaşa əlaqə yaratmağa imkan verən inkişaf etməkdə olan texnologiyadır. Bu texnologiya beyin siqnallarını analiz edərək birbaşa kompüterlərə və ya digər cihazlara ötürülməsini təmin edir. BKİ insanlara beyin siqnallarından istifadə edərək kompüterləri, robotları və ya digər cihazları idarə etməyə imkan

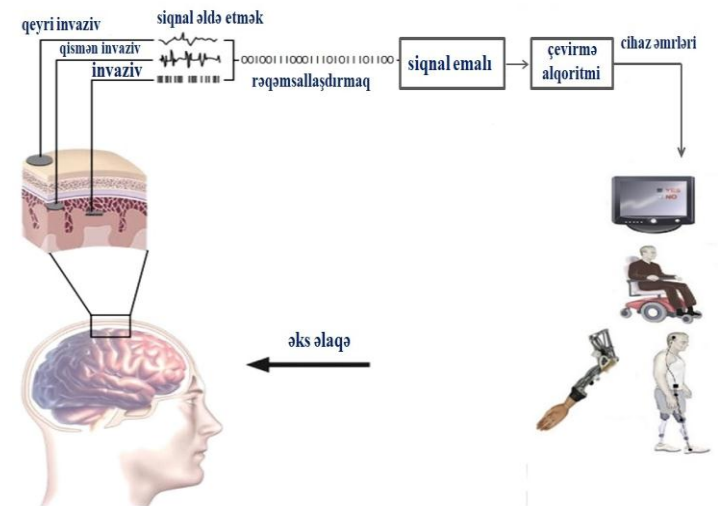
verən beyinə implantasiya edilmiş və ya başa taxılmış elektron sistemlərdir.

Bu texnologiyanın əsas məqsədi beyin aktivliyinə əsaslanaraq insanın niyyətini aşkar etmək və onu funksional hərəkətlərə çevirməkdir. Ənənəvi sinir-əzələ kanallarından istifadə etmədən həyata keçirilən bu rabitə növü, xüsusilə fiziki məhdudiyyətli şəxslər üçün yeni imkanlar yaradır. Tibb sahəsində BKİ-nin tətbiqi son illərdə geniş tədqiqat obyektinə çevrilmişdir. Tibbdə BKİ neyrokeabilitasiya və diaqnostikada böyük vədlər verir. Bu texnologiya iflic, amiotrofik lateral skleroz (ALS), onurğa beyini zədələri və digər neyroloji pozuntularla yaşayan şəxslərə kommunikasiya, reabilitasiya və ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqə imkanları təqdim edir. Eyni zamanda, BKİ psixoloji və neyroloji xəstəliklərin erkən diaqnostikasında, eləcə də emosional vəziyyətlərin monitorinqində istifadə olunur.

Bu məqalənin məqsədi BKİ-nin arxitekturasını və onun tibb sahəsindəki klinik tətbiqlərini təhlil etməkdir.

II. BEYIN-KOMPÜTER İNTERFEYSİNİN ARXITEKTURASI

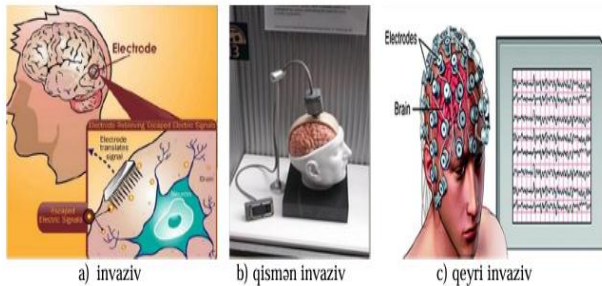
BKİ 4 əsas mərhələdən ibarətdir [3, 4]: siqnal əldəetmə, siqnal emalı, çevirmə algoritmi və yekun cihaz (şəkil 1).



Şəkil 1. Beyin-kompüter interfeysinin arxitekturası.

A. Birinci mərhələ – signal əldəetmə

Bu mərhələdə müəyyən üsul və texnikalardan istifadə edərək beyin siqnallarının əldə olunması prosesi həyata keçirilir. Bunun üçün şəkil 2-də qeyd olunan üç üsuldən istifadə olunur [1, 5, 6].



Şəkil 2. Beyindən siqnalların alınması üsulları.

İnvaziv üsul. BKİ texnologiyasında invaziv üsul birbaşa beyinin daxilində elektrodların yerləşdirilməsini nəzərdə tutur (şəkil 2a). Bu metod neyron aktivliyini çox yüksək dəqiqliklə qeydə almağa imkan verir. İnvaziv metodlar çox yaxşı siqnal keyfiyyətinə malikdir. İnvaziv üsullar sinir hüceyrələrinin fəaliyyətini birbaşa ölçdüyü üçün siqnalların keyfiyyəti (yüksək amplituda, aşağı səs küy) qeyri-invaziv üsullardan qat-qat yüksək olur. Bu üsul vasitəsilə robot əllərin və protezlərin idarə olunmasında daha dəqiq nəzarət təmin edilir. Lakin invaziv üsul beyinə kompleks cərrahi müdaxilə tələb etdiyindən insan sağlamlığı üçün zərərli hesab olunur. İnfeksiya, toxuma zədələnməsi və s. kimi ciddi fəsadlar mümkündür. Bu səbəbdən yalnız klinik tədqiqatlarda və ağır funksional itkiləri olan xəstələrdə tətbiq olunur.

Qismən invaziv. Burada implantlar beyni dəşmədən kəllə sümüyünün altına yerləşdirilir (şəkil 2b). Qismən invaziv üsul beyinin səthinə, lakin beyin toxumasına daxil olmadan yerləşdirilən cihazlar vasitəsilə siqnal toplayır. Bu zaman siqnalların keyfiyyəti aşağı olsa da, beyindən gələn siqnalların qəbul edilməsi invaziv üsulla müqayisədə insan sağlamlığına ziyan vurmur və tam invaziv metodlarla müqayisədə daha az risklidir. Qismən invaziv üsullar siqnal keyfiyyəti və təhlükəsizlik baxımından balanslı həll hesab olunur. Bu metod uzunmüddətli istifadəyə daha uyğundur və klinik tədqiqatlarda geniş istifadə olunur. Epilepsiyanın diaqnostikası və bəzi neyrocərrahi prosedurlar zamanı tez-tez tətbiq edilir. Siqnallar birbaşa beyin səthindən alındığı üçün dəqiqlik yüksək olur. Bu metod əsasən Elektrokortikoqrafiya (ing. *EcoG*, *Electrocorticography*) texnologiyasına əsaslanır. Bu üsuldə beyin qabığından elektrik aktivliyini qeyd etmək üçün elektrodlar birbaşa beyinin açıq səthinə yerləşdirilir. Neyro görüntülmə zamanı elektrodların kəllənin içərisinə yerləşdirilməsi üçün cərrahi kəsiyin həyata keçirilməsi tələb olunur.

Qeyri-invaziv. Bu cür BKİ texnologiyaları xəstənin beyinində heç bir implantasiya olmadan siqnalları yüksək keyfiyyətlə qeyd edir (şəkil 2c). Qeyri-invaziv üsul beyin

siqnallarını xarici cihazlar vasitəsilə, heç bir cərrahi müdaxilə olmadan qeydə alır. Qeyri-invaziv üsuldə sensorlar baş dərisinə yerləşdirildiyindən invaziv üsulla müqayisədə onun istifadəsi daha asandır. Ən çox istifadə olunan metod elektroensefaloqrafiya (ing. *Electroencephalography (EEG)*) texnologiyasıdır. EEG cihazları baş dərisinə yerləşdirilən elektrodlarla beyin fəaliyyətini ölçür. Bu üsul təhlükəsiz, ağrısız və istifadəsi rahatdır, ona görə də geniş yayılmışdır. Qeyri-invaziv BKİ-lər əsasən tədqiqat, reabilitasiya və oyun texnologiyalarında istifadə olunur. Siqnal keyfiyyəti invaziv və qismən invaziv üsullarla müqayisədə daha zəifdir, çünki siqnallar kəllə və dəri qatlarından keçərək zəifləyir. Bununla belə, müasir siqnal emal və süni intellekt metodları bu çatışmazlığı müəyyən qədər kompensasiya edə bilir.

Qeyri-invaziv üsullar real vaxt rejimində işləyə bilən sistemlər üçün əlverişli hesab olunur. Bu metod, xüsusilə sağlam insanlar üçün nəzərdə tutulan tətbiqlərdə, məsələn, oyun interfeysləri və diqqət təlimlərində üstünlük təşkil edir. Qeyri-invaziv üsul üçün əsasən aşağıdakı texnologiyalardan istifadə olunur [7]:

- *Elektroensefaloqrafiya* (ing. *Electroencephalography (EEG)*). Baş dərisinə yerləşdirilən elektrodlarla beyin dalğalarını ölçmək üçün ən geniş yayılmış texnologiyadır.
- *Funksional yarım-infraqırmızı spektroskopiya* (functional near-infrared spectroscopy (FNIRS)). Qeyri-invaziv üsul olaraq, beyinin oksigenlə zəngin və oksigensiz hemoqlobin səviyyələrini ölçməklə neyron fəaliyyətinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynayır.
- *Maqnetoensefaloqrafiya* (ing. *Magnetoencephalography (MEG)*). Beyinin maqnit siqnallarını ölçür, yüksək məkan və zaman dəqiqliyi ilə fərqlənir, lakin çox bahalıdır.
- *Funksional Maqnit Rezonans Görüntülmə* (ing. *Functional magnetic resonance imaging (fMRI)*). Beyin fəaliyyətini qan axını dəyişiklikləri əsasında yüksək məkan dəqiqliyi ilə qeyri-invaziv şəkildə vizuallaşdıran bir metodudur.

Beyinin fəaliyyəti zamanı yaranan elektrik siqnalları yuxarıda qeyd olunduğu kimi beyinin daxilində, kəllə sümüyünün altında və ya baş dərisində yerləşdirilən elektrodlar vasitəsilə qeydə alınmaqla aşkarlanır. Daha sonra siqnallar elektron emala uyğun səviyyələrə qədər gücləndirilir, rəqəmsallaşdırılır və kompüterə ötürülür. Orada isə siqnalların emal prosesi həyata keçirilir.

B. İkinci mərhələ – siqnalın emalı

Siqnalın emalı mərhələsi beyində baş verən mürəkkəb proseslər səbəbindən BKİ-nin ən vacib və çətin tərəfidir. Siqnal emalı, müvafiq siqnal xüsusiyyətlərinin (yəni, şəxsin niyyəti ilə əlaqəli siqnal xüsusiyyətləri) kənar məzmunundan ayrılması üçün rəqəmsal siqnalların təhlili və onların yekun əmərlərə çevrilməsi məqsədilə yığcam formada təqdim olunmasıdır. Bu xüsusiyyətlər istifadəçinin məqsədi ilə əlaqəli olmalıdır. Bu mərhələdə məqsəd siqnalın çıxarılması xüsusiyyətlər əsasında istifadəçinin niyyətini (məsələn, hansı

istiqamətə baxmaq istədiyini və ya hansı hərəkəti etmək istədiyini) müəyyənləşdirməkdir.

BKİ texnologiyasında siqnalların emalı mərhələsi beyindən alınan xam siqnalları maşın tərəfindən şərh edilə bilən mənalı xüsusiyyətlərə çevirmək üçün vacibdir. Bura, adətən, ilkin emal, xüsusiyyət çıxarılması, xüsusiyyət seçimi və təsnifat daxildir [8, 9]. Siqnal emalı mərhələsində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi BKİ-nin performansını və funksionallığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Süni intellekt alqoritmləri xüsusilə xüsusiyyətlərin çıxarılması, seçilməsi və təsnifatı mərhələlərində geniş istifadə olunur [10, 11].

İlkin emal. Burada siqnalları təmizləmək və artefaktlardan (göz qırpması, əzələ hərəkətləri, elektromaqnit müdaxilələr və s.) azad etmək prosesi həyata keçirilir. Əvvəlcədən işlənmiş siqnallar müxtəlif səs-küylərə, o cümlədən elektrik xəttinin səs-küyünə, fizioloji səslərə, hərəkət artefaktlarına və müdaxilə səslərinə məruz qalır. Bu səslər bütün BKİ prosedurunun səmərəliliyinə təsir edə bilər. Bu səbəbdən səs-küyün aradan qaldırılması və ya azaldılması üçün müxtəlif alqoritmlərdən istifadə edilir.

Xüsusiyyətlərin çıxarılması. Burada əsas məqsəd siqnalların daxilində istifadəçi niyyətini əks etdirə biləcək əsas xüsusiyyətləri əldə etməkdir. Süni intellekt siqnallardakı mürəkkəb və qeyri-xətti nümunələri avtomatik olaraq öyrənə bilir. Bunun üçün dərin öyrənmə modelləri (məsələn, CNN və Autoencoder-lər) istifadə olunur. Bu, ənənəvi metodlardan fərqli olaraq, əl ilə xüsusiyyətlərin çıxarılması ehtiyacını azaldır.

Xüsusiyyətlərin seçilməsi və azaldılması. Burada əsas məqsəd yalnız faydalı və informativ xüsusiyyətləri saxlamaq, sistemin sürətini və dəqiqliyini artırmaqdır. Maşın öyrənməsi alqoritmləri informativ xüsusiyyətləri seçərək modelin yükünü azaldır və performansını artırır. Bunun üçün genetik alqoritmlər və qarmaqarışq axtarış metodları, tətbiq edilir.

Təsnifat. Bu mərhələdə əsas məqsəd seçilmiş xüsusiyyətlərə əsaslanaraq istifadəçinin niyyətini (komanda, sağ əli hərəkət etdirmək, seçim etmək və s.) müəyyənləşdirməkdir. Burada Maşın öyrənmə modelləri (Support Vector Machine, k-Nearest Neighbors, Decision Trees, Random Forest, Naive Bayes və Dərin öyrənmə modeli (Convolutional Neural Networks) istifadə olunur.

Yuxarıda qeyd olunan siqnal emalı prosesləri zamanı yaranan siqnal xüsusiyyətləri daha sonra üçüncü yeni çevirmə alqoritmə mərhələsinə ötürülür.

C. Üçüncü mərhələ – çevirmə alqoritmə

Çevirmə alqoritmə mərhələsində siqnal xüsusiyyətlərinin cihazın anlayacağı müvafiq əməllərə (yəni, istifadəçinin niyyətini yerinə yetirən əməllərə) çevrilməsi həyata keçirilir. Bu mərhələnin əsas funksiyası emal olunmuş və təsnifləşdirilmiş siqnalı istifadəçi üçün faydalı əməllərə çevirməkdir (məsələn: kursurun sağa hərəkəti, prostetik əlin açılması, və s.). Bu mərhələ, BKİ texnologiyalarının real həyatda tətbiq oluna bilməsi üçün kritik rol oynayır, çünki insan beyinindən gələn abstrakt siqnallar buradakı çevirmə ilə konkret və faydalı əməllərə çevrilir.

D. Dördüncü mərhələ – çevirmə alqoritməndən gələn əməllər

Çevirmə alqoritməndən gələn əməllər yekun cihazı işə salır, hərfin seçilməsi, kursora nəzarət, robot qolun istifadəsi və s. kimi funksiyaları təmin edir. Cihazın fəaliyyəti istifadəçi ilə əks əlaqə yaradır, beləliklə də, idarəetmə tamamlanır

III. BEYİN-KOMPÜTER INTERFEYSİNİN KLİNİK TƏTBİQLƏRİ

BKİ texnologiyası inkişaf etmiş neyroloji qiymətləndirmə və idrak proseslərinin anlaşılması sahəsində bir sıra əhəmiyyətli irəliləyişlərə nail olmuşdur. Ümumi tibbi tətbiqlər sahəsində isə, bu texnologiya neyroloji pozuntuları olan, danışa bilməyən və ya iflic olmuş, həmçinin insult və ya kəskin beyin travması keçirmiş pasiyentlər üçün mühüm irəliləyişlər əldə etmişdir. Potensial BKİ istifadəçiləri fiziki və idrak imkanlarına, həmçinin BKİ sistemlərindən istifadə məqsədlərinə görə üç qrupa bölünür [12]:

Tamamilə hərəkətsiz və ya ciddi dərəcədə hərəkət məhdudiyyətli şəxslər. Bu şəxslər BKİ texnologiyalarının əsas istifadəçi qruplarından biridir. Bu şəxslər əzələlər vasitəsilə hərəkət və ya danışma qabiliyyətini demək olar ki, tam itirmiş olurlar. Bu qrupa ALS xəstələri, beyin kötüyü insultu keçirmiş şəxslər aiddir. Bu istifadəçilər üçün BKİ yeganə ünsiyyət və nəzarət vasitəsidir. Onlar EEG əsaslı sistemlərlə düşüncə vasitəsilə "bəli/xeyr" cavabları verir, mətn yazır və ya sadə cihazları idarə edə bilirlər.

Qismən hərəkət qabiliyyəti olan istifadəçilər. BKİ texnologiyalarının ikinci əsas hədəf qrupunu təşkil edir. Bu şəxslər müəyyən dərəcədə fiziki hərəkət qabiliyyətini saxlamış olsalar da, gündəlik həyat fəaliyyətlərində əhəmiyyətli məhdudiyyətlərlə üzləşirlər. Bu qrupa insult keçirmiş pasiyentlər, onurğa beyini zədəsi olan, lakin qismən hərəkət edə bilən şəxslər, serebral iflic olanlar, erkən mərhələli ALS xəstəlikləri olanlar daxildir. Bu şəxslər üçün BKİ mövcud qabiliyyətləri tamamlamaq və ya gücləndirmək üçün istifadə olunur. Məsələn, reabilitasiya zamanı əl və ya ayaq hərəkətlərini stimullaşdırmaq məqsədilə.

Sağlam və funksional qabiliyyətli şəxslər (təcrübə və qeyri-tibbi istifadəçilər). Bu qrupa oyun həvəskarları, virtual reallıq (VR) istifadəçiləri və tədqiqatçılar daxildir. Bu istifadəçilər BKİ-ni yeni təcrübələr, diqqət monitorinqi, emosional vəziyyətin təhlili, ağıllı ev sistemlərinin idarəedilməsi və yaradıcılıq məqsədləri üçün istifadə edirlər.

Beyin-kompüter interfeysinin klinik tətbiqləri, nevroloji və motor pozuntuların (sinir sistemi və əzələ funksiyalarındakı problemlər nəticəsində hərəkətlərin idarəsində yaranan çətinliklər və ya anormallıqlar) müalicəsi və kompensasiya olunması sahəsində mühüm irəliləyişlərə səbəb olmuşdur. Bu texnologiya beyin siqnallarını analiz edərək istifadəçiyə cihazları və sistemləri düşüncə ilə idarə etməyə imkan verir. Aşağıda BKİ-nin əsas klinik tətbiq sahələri göstərilmişdir [13-15]:

Ünsiyyətin bərpası BKİ-nin ən mühüm klinik tətbiq sahələrindən biridir. Bu texnologiya, danışma və yazma qabiliyyətini itirmiş, lakin şüuru sağlam qalan şəxslərə ünsiyyət qurmaq imkanı verir. Əsasən ALS və insult keçirən xəstələr üçün istifadə olunur. BKİ istifadəçinin beyin

siqnallarını toplayaraq onların seçimlərini və ya fikirlərini təhlil edir. P300 və SSVEP (Sabit Görüntülü Görmə Potensialları) əsaslı speller sistemləri vasitəsilə istifadəçi diqqətini ekrandakı simvollarla yönəldərək sözlər və cümlələr yarada bilir. Motor təsəvvürə əsaslanan (Motor imagery) sistemlər isə istifadəçi yalnız xəyalən hərəkət edərək sistemlə əlaqə qurur. Bəzi sistemlər seçilən sözləri avtomatik səsə çevirərək danışq funksiyasını da bərpa edir. Bu texnologiya sayəsində uzun müddət izolyasiya vəziyyətində olan şəxslər yenidən öz fikirlərini ifadə edə bilərlər. Beləliklə, BKİ ünsiyyət maneələrini aradan qaldıraraq sosial və emosional təcridin qarşısını alır.

Motor funksiyaların bərpası (reabilitasiya) BKİ texnologiyalarının klinik sahədə ən perspektivli tətbiqlərindən biridir. Bu yanaşma hərəkət qabiliyyəti qismən və ya tam itmiş şəxslərin yenidən motor funksiyalarına sahib olmasına yönəlib. Xüsusilə insult, serebral iflic və onurğa beyini zədələri keçirmiş pasiyentlər üçün geniş istifadə olunur. BKİ pasiyentin beyin siqnallarını oxuyaraq hərəkət etmək istəklərini analiz edir və bu siqnalları robotik reabilitasiya qurğularına və ya elektrik stimulasiya cihazlarına ötürür. Beləliklə, pasiyent düşüncə yolu ilə əzələlərin aktivləşməsinə nail olur. Bu proses beyin-sinir əlaqələrinin yenidən qurulmasına şərait yaradır. Beləliklə, BKİ texnologiyası reabilitasiyada həm effektivliyi artırır, həm də bərpa müddətini qısaldır.

Neyroprotezlərin idarə edilməsi BKİ texnologiyasının ən qabaqcıl və praktiki tətbiq sahələrindən biridir. Bu üsul, fiziki əza itkisi və ya iflic səbəbilə əzələlərə nəzarəti itirmiş şəxslərə protezləri düşüncə yolu ilə idarə etmək imkanı verir. BKİ istifadəçinin beyinindən gələn siqnalları qeydə alır və bu siqnalları xüsusi alqoritmlər vasitəsilə mühərrik əməllərinə çevirir. Nəticədə, istifadəçi robotik qol, əl və ya ayaq protezini heç bir fiziki hərəkət etmədən, yalnız düşünərək hərəkət etdirə bilir.

Epilepsiyada BKİ texnologiyasının tətbiqi xəstəliyin daha dəqiq izlənməsi, erkən aşkarlanması və potensial olaraq qarşısının alınması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. BKİ epilepsiya xəstələrinin beyin dalğalarını real vaxtda izləyərək, tutma (səyrimə) öncəsi anormal siqnalları aşkar edə bilir. Bu, tutmanın proqnozlaşdırılması və istifadəçiyə və ya tibbi heyətə xəbərdarlıq edilməsi imkanı yaradır. Tutmanın baş verəcəyini əvvəlcədən bilmək xəstənin özünü təhlükəsiz yerə çəkməsinə və ya oturmasına imkan verir, bu da yıxılma, zədələnmə və digər qəza risklərini azaldır. BKİ vasitəsilə xəstə və yaxınları tutma başlamazdan əvvəl vizual, səsli və ya titrəyişli xəbərdarlıq ala bilər. Xüsusilə EEG əsaslı sistemlər epileptik fəaliyyətin topoqrafik yerini və formasını müəyyənəndirərək diaagnostikani dəqiq aparmağa kömək edir. Süni intellektlə təchiz olunmuş alqoritmlər minlərlə siqnalı təhlil edərək fərdi tutma nümunələrini öyrənir və zamanla daha dəqiq nəticələr təqdim edir.

Depressiyada BKİ texnologiyalarının tətbiqi, emosional vəziyyətin monitorinqi və tənzimlənməsi üçün yeni, qeyri-invaziv və fərdi yanaşma təqdim edir. Bu texnologiya əsasən neurofeedback üsulu ilə həyata keçirilir. Burada istifadəçi öz beyin dalğalarını izləyərək, onları istənilən səviyyəyə yönləndirməyi öyrənir. Pasiyent ekran üzərindən öz beyin aktivliyini real vaxtda izləyir və vizual/səsli geribildirimlər

vasitəsilə emosional vəziyyətini idarə etməyə çalışır. Bu metod xüsusilə dərmanlara cavab verməyən və ya əlavə müalicəyə ehtiyac duyan xəstələr üçün alternativ hesab olunur. Uzunmüddətli tətbiqlər nəticəsində emosional sabillik artır, stress və özünüqəbul səviyyəsi yaxşılaşır.

IV. BEYİN-KOMPÜTER INTERFEYSİ SAHƏSİNDƏ MÖVCUD PROBLEMLƏR

Hal-hazırda inkişaf mərhələsində olan BKİ-nin maraqlı və dinamik gələcəyinə baxmayaraq, əlbəttə ki, texnoloji problemləri və riskləri də vardır. BKİ sahəsində mövcud olan əsas problemlər aşağıda göstərilmişdir [1, 3, 8,]:

İnsan beyininin dərk edilməsi. BKİ sahəsində insan beyininin dərk edilməsində bir sıra çətinliklər mövcuddur. Əvvəla, beyinin mürəkkəb funksional strukturu siqnalların dəqiq emalını çətinləşdirir. Eyni zamanda, fərqli insanların beyin siqnalları arasında fərqliliklər BKİ sistemlərinin standartlaşdırılmasını çətinləşdirir. Bu səbəbdən, daha dəqiq modellər və inkişaf etmiş siqnal emalı üsullarına ehtiyac var ki, BKİ texnologiyaları daha etibarlı və geniş istifadə oluna bilsin.

Nəticələrin qeyri-dəqiqliyi. BKİ-də nəticələrin qeyri-dəqiqliyi texnologiyanın geniş tətbiqinə əngəl yaradan əsas problemlərdəndir. EEG kimi qeyri-invaziv metodlarla toplanan siqnallar zəif və səs-küylü olur, bu da səhv analizlərə səbəb ola bilər. Beyin siqnalları zamanla və fərqli şəraitlərdə dəyişə bildiyindən nəticələrin sabitliyi təmin edilmir. İstifadəçilərin fərdi xüsusiyyətləri, yorğunluq və diqqət səviyyəsi də sistemin dəqiqliyinə mənfi təsir göstərir. Bu səbəbdən, yüksək dəqiqlikli nəticələr əldə etmək üçün siqnal emalı və maşın öyrənməsi üsullarının daha da təkmilləşdirilməsinə ehtiyac vardır.

İstifadə rahatlığı. BKİ-lərinin istifadəsi bəzən istifadəçilər üçün çətin və narahat ola bilər. Xüsusilə yaş və ya motor pozuntuları olan şəxslər üçün elektrodların düzgün yerləşdirilməsi və sistemin kalibrovkası əlavə çətinlik yaradır. Bu səbəbdən, istifadəsi daha sadə və rahat olan qurğuların hazırlanması vacib hesab olunur.

Təhlükəsizlik problemləri. BKİ hazırda bir istifadəçinin niyyətləri, şəxsi düşüncələri, oxuduqları və ya baxdıqları haqda məlumatların əldə edilməsi üçün istifadə edilir. İstifadə olunan sinir siqnalları şəxsi və həssas məlumatlar daşıya bilər, bu da məlumatların icazəsiz əldə olunması riskini artırır. Sistemlərə edilə biləcək kiberhücumlar həm istifadəçinin məlumat təhlükəsizliyini, həm də fiziki təhlükəsizliyini təhdid edə bilər. Bu səbəbdən BKİ texnologiyalarında məlumatların şifrələnməsi və təhlükəsizlik protokollarının tətbiqi zəruridir.

Yuxarıda qeyd olunan problemləri ümumiləşdirərək BKİ-nin çatışmazlıqlarını aşağıdakı kimi göstərmək olar [1]:

- Tədqiqatlar hələ ilkin mərhələdədir;
- Avadanlıq tam olaraq portativ deyil;
- İstifadəçi BKİ qurğularından istifadə etməzdən əvvəl geniş təlimlər keçməlidir;
- Beyində aparılan əməliyyatlar riskli ola bilər və beyinin fəaliyyətinin dayanmasına səbəb ola bilər;

- Beyində BKİ cihazlarının götürə bilmədiyi kimyəvi reaksiyalar mövcuddur;
- Etik məsələlər sistemin inkişafına mane ola bilər;
- Kəllə xaricindəki elektrodlar beyindən çox az siqnal ala bilər;
- Kəllə içərisinə yerləşdirilmiş elektrodlar beyində toxumaları zədələyir;
- BKİ texnologiyası və onun quraşdırılması çox xərc tələb edir;
- Virus hücumları beyində pis təsirlərə səbəb ola bilər;
- BKİ texnologiyasının sürətlə fəaliyyət göstərə bilməsi üçün hələ bir sıra texnologiyaların inkişaf etdirilməsi tələb olunur.

NƏTİCƏ

BKİ tətbiqləri, əsasən laboratoriya şəraitində nümayişlərlə məhdudlaşdırılmışdır və hələlik gündəlik həyatda tam istifadə edilmir. Yaxın gələcəkdə BKİ tətbiqləri kompüter, mobil telefon və bir sıra digər texnologiyalar kimi gündəlik fəaliyyətdə insanların istifadəsinə veriləcəkdir. Bu səbəbdən BKİ-nin inkişafının müxtəlif komponentləri ilə bağlı tədqiqatlar ardıcıl və sürətli şəkildə davam etdirilir. BKİ tibdə geniş tətbiq imkanlarına malik innovativ texnologiyadır. Bu sistemlər iflic və digər xəstəliklərdən əziyyət çəkən pasiyentlər üçün ünsiyyət və hərəkət bacarıqlarının bərpasında mühüm rol oynayır. Eyni zamanda, diaqnostika və reabilitasiya proseslərinin dəqiqliyini və effektivliyini artırmaqla, fərdi yanaşma imkanlarını genişləndirir. Lakin texnologiyanın inkişafı ilə paralel olaraq siqnalın qeyri-dəqiqliyi, təhlükəsizlik və etik məsələlər kimi problemlər də hələ tam həll olunmamış qalır. Daha həssas siqnal emal alqoritmləri, dəqiqliyi artırılan qurğular və qeyri-invaziv sistemlər vasitəsilə daha effektiv tətbiqlər mümkün olacaq. Gələcək tədqiqatlar bu çətinliklərin aradan qaldırılmasına və BKİ-nin kliniki praktikada daha geniş istifadəsinə imkan verəcəkdir.

İSTİNADLAR

- [1] M. Həşimov, “Beyin Kompüter Interfeysi: perspektivləri, tətbiqləri və problemləri,” *Informasiya texnologiyaları problemləri*, №1, s. 46–54, 2021.
- [2] U. Aroosa, A. Ureeba, and G. K. Muhammad, “Recent Trends, Applications, and Challenges of Brain-Computer Interfacing,” *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 9, no. 2, pp. 58–65, 2017.
- [3] B. Maiseli, A. T. Abdalla, L. V. Massawe, M. Mbise, K. Mkocha, N. A. Nassor, M. Ismail, J. Michael and S. Kimambo, “Brain-computer interface: trend, challenges, and threats,” *Brain Informatics*, vol. 10, pp. 2-16, 2023.
- [4] M. A. Javaid, “Brain-Computer Interface,” *SSRN Electronic Journal*, pp. 2-30, 2013.
- [5] Y. Suna, X. Chenb, B. Liua, L. Liangc, Y. Wang, S. Gaoa, and X. Gao, “Signal acquisition of brain-computer interfaces: A medical-engineering crossover perspective review,” *Fundamental Research*, vol. 5, pp. 3-16, 2025.
- [6] L. S. F Alessandro, C. M. Leonardo, E. C. M Erica, and G. S. Sarah, “A Survey of Interactive Systems based on Brain Computer Interfaces” *Journal on Interactive Systems*, , vol. 4, no. 1, pp. 3–13, 2013.
- [7] J. Peksa and D. Mamchur, “State-of-the-Art on Brain-Computer Interface Technology,” *Sensors*, vol. 23, 6001, 2023.
- [8] N. A. Sarah, A. Ayman, and S. M. M Mostafa, “Brain computer interfacing: Applications and challenges,” *Egyptian Informatics Journal*, vol. 15, pp. 213–230, 2015.
- [9] A. Mansoor, M. W. Usman, N. Jamil, and M. A. Naeem, “Deep Learning Algorithm for Brain-Computer Interface,” pp. 1-12, 2020.
- [10] S. Chenna, “Exploring the Use of Artificial Intelligence in Brain-Computer Interfaces for Improved Control and Communication,” *Woxsen University*, 13 p, 2023. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4447601>
- [11] X. Zhang, Z. Ma, H. Zheng, T. Li, and et al, “The combination of brain-computer interfaces and artificial intelligence: applications and challenges,” *Annals of Translational Medicine*, vol. 8, 712, 2020.
- [12] F. Lotte, R. N. Roy, “Brain-Computer Interfaces’ Contributions to Neuroergonomics,” *Neuroergonomics*, pp. 43-48, 2019.
- [13] M. V. Cruz, S. Jamal, and S. C. Sethuraman, “A Comprehensive Survey of Brain-Computer Interface Technology in Healthcare: Research Perspectives,” *preprints.org*. 2024. doi: 10.20944/preprints202403.0082.v1
- [14] Z. A. Alkaff, N. H. A. H. Malim, P. Sumari and J. M. Abdullah, “Applications of Brain Computer Interface in Present Healthcare Setting,” In book: *New Insights in Brain-Computer Interface Systems*, 2024.
- [15] N. M. Joseph, and R.W. Jonathan, “Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and Future Prospects,” *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 2, pp. 187–199, 2009.

Rəqəmsal Tibb 4.0 və Sosial Kredit Sistemləri: Problemlər və Perspektivlər

İradə Ələkbərova

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
airada.09@gmail.com

Xülasə— Məqalədə sosial kredit sistemi haqqında qısa məlumat verilir, rəqəmsal tibb 4.0 və sosial kredit sistemlərinin (SKS) əlaqəli işinin ölkədə tibin inkişafına, vətəndaşların sağlamlığına, səhiyyə sisteminin uğurlu fəaliyyətinə necə təsir edəcəyi araşdırılır. Rəqəmsal tibb 4.0 və Səhiyyə 4.0 konsepsiyalarının mahiyyəti, onların xüsusiyyətləri, oxşar və fərqli cəhətləri analiz olunur. Rəqəmsal tibin sürətlə inkişaf etdiyi müasir dövrdə SKS-nin bu istiqamətdə yaratdığı problemlər, potensial risklər müəyyənləşdirilir. Həmçinin, Rəqəmsal tibb 4.0-ın təsiri ilə SKS-nin gələcək perspektivlərinə diqqət yetirilir, SKS-nin insanların sağlamlığına, davranışlarına və ümumi rifaha potensial təsirləri müəyyənləşdirilir.

Açar sözlər— rəqəmsal tibb 4.0, sosial kredit sistemi, 4-cü sənaye inqilabı, Səhiyyə 4.0, süni intellekt.

I. GİRİŞ

Müasir informasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi ilə bir çox ölkələrdə dövlət orqanları və ayrı-ayrı şirkətlər fərdi məlumatlar əsasında vətəndaşları etimadına, nüfuzuna və davranışına görə qiymətləndirməyə çalışırlar. Belə qiymətləndirmə sosial kredit adlanır. Vətəndaşların davranışı haqqında məlumatların toplanması və təhlilinə əsaslanan sosial kredit sistemləri (SKS) getdikcə geniş yayılmaqdadır. “Sosial kredit sistemi” (Social Credit Score) termini ilk dəfə 2003-cü ildə Çin Xalq Respublikasının dövlət sənədlərində istifadə olunmağa başlamışdır. Çində 2010-cu ildən başlayaraq sosial kredit sistemi sınaqdan keçirilməkdədir [1].

SKS vətəndaşların davranışlarının hesablama sistemləri vasitəsilə qiymətləndirilməsinə yönəlmiş yeni mühitin yaradılmasına istiqamətləndirilmişdir. Sistemdə istifadə olunan metod və alqoritmlər vasitəsilə vətəndaşın işləyəcəyi müəssisə, sığorta proqramı, müalicə edildiyi yer və hətta hansı nəqliyyatdan istifadəsi haqqında qərarlar qəbul edilir. Məsələn, Çində tətbiq olunan SKS vasitəsilə vətəndaşa yüksək kredit balı müəyyən olunmuşdursa o depozit ödəmədən icarəyə avtomobil və ya ev götürə bilər, pulsuz müalicə ala bilər [2]. SKS-nin effektiv işləməsi, digər intellektual sistemlərdə olduğu kimi, ilk növbədə burada emal olunacaq fərdi məlumatların mənbəyindən və keyfiyyətindən asılıdır. Bu gün fərdi məlumatlar “big data” təşkil etdiyi üçün, onların qorunması, səmərəli emalı və saxlanması əsas problemlərindənədir.

Fərdi məlumatlar reyestrləri tibbdə, təhsildə, sosial sığorta, bank və bir çox sahələrdə mövcuddur. Bu reyestrlər əhali haqqında məlumatların toplandığı effektiv vasitə hesab olunur və e-dövlət platformasında tətbiq olunan müasir

texnologiyalar mümkün olan bütün dövlət reyestrlərini ən qısa müddətdə əlaqələndirməyə imkan verir.

Əksər dövlətlər müxtəlif reyestrlərin milli vahid infrastrukturda birləşməsi üçün geniş imkanlara və avadanlıqlara malikdir. Milli vahid reyestr adlandırdığımız bu infrastrukturda ölkə vətəndaşları, ölkədə yaşayan, lakin vətəndaşlığı olmayan xarici vətəndaşlar və xaricdə daimi yaşayan ölkə vətəndaşları haqqında məlumatlar saxlanılır.

Səhiyyə informasiya sistemi də daxil olmaqla müxtəlif reyestrlərdə analiz olunan və “big data” təşkil edən verilənlər PİN altında hər bir vətəndaşın buludunu formalaşdırır və milli vahid reyestrə toplanır. PİN müxtəlif reyestrlərdə toplanan çox sayda yazıları birləşdirmək və onlar arasında əlaqənin təmin edənə vacib vaktordur. Rəqəmsal tibb 4.0 (Digital medicine 4.0) və milli vahid reyestrin əlaqələndirilmiş fəaliyyəti əhalinin sağlamlığının monitorinqi, sağlam həyat tərzinin təbliği və səhiyyə xidmətlərinin göstərilməsini optimallaşdırmaq üçün yeni imkanlar açır, qərarqəbuletmə məsələlərinə önəmli töhvə verir.

Yeni əsrin əvvəllərindən tibb texnologiyalarının intellektuallaşdırılması, maşın təlimi alqoritmlərinin, sensor texnologiyalarının, kompüter görmənin tibbə gətirilməsi səhiyyənin inkişafını və bu sahədə xərclərin azalmasını sürətləndirdi. Nəticədə, Rəqəmsal tibb 4.0 və Səhiyyə 4.0 (Healthcare 4.0) konsepsiyaları yarandı. Bu konsepsiyaların məqsədi və əhəmiyyəti haqqında son illərin elmi tədqiqatlarında geniş yazılmış, onun səhiyyə sistemində rolu müxtəlif yollarla təqdim edilmişdir ki [3, 4], bu da bəzi hallarda çoxlu anlaşılmazlıqlar yarada bilər. Bizim məqsədimiz Rəqəmsal tibb 4.0 konsepsiyasının SKS ilə inteqrasiyasının vətəndaşların sağlamlığı və müalicəsi ilə əlaqədar müəyyən problemlərin həllində vacibliyini göstərmək, bu sahədə perspektivləri müəyyənləşdirməkdir.

II. RƏQƏMSAL TİBB 4.0 VƏ SƏHİYYƏ 4.0 KONSEPSİYALARI HAQQINDA

Rəqəmsal tibb 4.0 və Səhiyyə 4.0 terminləri bir-biri ilə sıx əlaqəli olsa da və tez-tez bir-birini əvəz edən mənada istifadə edilsə də, onların vurğulanmasında incə nüanslar var. Rəqəmsal tibb 4.0 rəqəmsal texnologiyaların tibbi praktikada tətbiqinin klinik və texniki aspektlərinə diqqət yetirir. O, xəstələrin diaqnozu, müalicəsi və monitorinqi üçün rəqəmsal vasitələrin istifadəsini vurğulayır [3]. Əsas diqqət tibbi prosedurları və müalicənin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün tez-tez süni intellekt, maşın təlimi və verilənlərin analitikası kimi texnologiyaların tətbiqinə verilir.

Səhiyyə 4.0 isə bütün səhiyyə ekosisteminə əhatə edən daha geniş tətbiq dairəsinə malikdir. O, profilaktik səhiyyə, ictimai sağlamlıq və xəstələrin səlahiyyətləndirilməsi daxil olmaqla, səhiyyə xidmətinin yaxşılaşdırılmasına xüsusi diqqət yetirir. Bura rifahı təşviq etmək, əhəlinin ümumi sağlamlığını yaxşılaşdırmaq üçün fərdi məlumatlardan effektiv istifadə və xəstələrin həkimlərlə ünsiyyətini artırmaq üçün rəqəmsal texnologiyaların integrasiyası da daxildir. Səhiyyə 4.0 vətəndaşlar üçün fərdiləşdirilmiş, real vaxt rejimində səhiyyə xidmətləri və səhiyyə sahəsində maraqlı tərəfləri qabaqcıl texnologiyalarla təmin etmək məqsədi daşıyan 4-cü sənaye inqilabından (Industry 4.0) yaranan strateji konsepsiyadır [3].

Rəqəmsal tibb 4.0 konsepsiyasının tətbiqinin vətəndaşların tibbi xidmətlərlə təmin olunmasına necə təsir etdiyini təsəvvür əldə etmək üçün ilk növbədə rəqəmsal tibb haqqında ümumi təsəvvür əldə etmək lazımdır. Rəqəmsal tibb sistemləri müasir İKT-nin imkanlarından istifadə etməklə vətəndaşların səhhəti ilə əlaqədar problemlərini, ölkədə tibb avadanlıqlarının vəziyyətini və səhiyyə sisteminin inkişaf etdirilməsi perspektivlərini öyrənir. Rəqəmsal tibbi bir elm sahəsi kimi üç əsas istiqamətə bölmək olar: İKT-nin tibb sisteminə təsiri, rəqəmsal tibbin cəmiyyətə təsiri və rəqəmsal tibbdə intellektual analiz metodları (Rəqəmsal tibb 4.0). Hər iki konsepsiya qarşılıqlı əlaqə, avtomatlaşdırma, süni intellekt və böyük verilənlərə əsaslanan qərar qəbulunu dəstəkləyən prinsiplərə əsaslanır, müasir informasiya cəmiyyətində səhiyyənin davam edən təkamülünü təmsil edir.

Rəqəmsal tibb 4.0 hərtərəfli və yüksək keyfiyyətli müalicəni təmin etməklə az inkişaf etmiş ölkələrə keyfiyyətli tibbi xidmətlər təklif edir. Rəqəmsal tibb 4.0 xəstə məlumatlarının elektron sistemlərdə toplanması, süni intellekt texnologiyaları tərəfindən daha yaxşı başa düşülməsi və keyfiyyətli diaqnoz və müalicə üçün istifadə ediləcəyi sistemdir. Rəqəmsal tibb 4.0-ün təsiri ilə bu gün müxtəlif intellektual sistemlər ortopediya, neyrocərrahiyyə, urologiya, mədə-bağırsaq xəstəliklərinin müalicəsi kimi bir çox sahələrdə geniş şəkildə istifadə olunur [4]. Rəqəmsal tibb 4.0 süni intellekt, böyük verilənlərin (big data) analitikası, əşyaların interneti, bulud hesablamaları və virtual reallıq kimi ən yeni texnologiyaların səhiyyədə tətbiqidir [4, 5].

Rəqəmsal tibb 1.0-dən Rəqəmsal tibb 4.0 -a qədər olan təkamülə nəzər saldıqda, biz səhiyyə xidmətinin sadəcə dərman qəbulundan daha mürəkkəb xəstəliklərin idarə olunmasına qədər təkamül etdiyini görürük. Xəstəyə qulluq əvvəlcə xəstənin tək bir həkimlə qarşılıqlı əlaqəsi vasitəsilə həyata keçirilirdi və daha sonra çoxsaylı həkimləri, komandaları və icmaları əhatə edəcək şəkildə genişləndirildi. Başlanğıcda, xəstəyə qulluq tək bir müəssisə üzərində cəmlənirdi və daha sonra bir çox fənləri, bölmələri və təşkilatları əhatə edəcək şəkildə genişləndirildi. Xəstə qayğısı indi insanların və təşkilatların böyük şəbəkələrini və icmalarını əhatə edir. Müalicə məsələlərində əvvəllər xəstəlik və onun müalicəsi haqqında məlumatlar məhdud idi. Bu gün Rəqəmsal tibb 4.0 ölçüləri, keyfiyyəti, formatı və xüsusiyyətlərində geniş dəyişikliklərə malik böyük və nəhəng informasiya axınlarına malikdir.

4-cü sənaye inqilabının təkamülünə bənzər olaraq, Rəqəmsal tibb 4.0 sürətlə artan və genişlənən avtomatlaşdırmanı ehtiva edir. Rəqəmsal tibb 4.0-da xəstələr

və həkimlər getdikcə daha çox birgə iştirak edir. Xəstələrin sağlamlıqlarının monitorinqi, simptomlar barədə məlumatların toplanması, müalicənin planlaşdırılması ilə bağlı qərarların qəbulunda yalnız səhiyyə işçiləri və xəstələr deyil, süni intellekt də mühüm rol oynayır.

Rəqəmsal tibb 4.0 sahəsi 4-cü sənaye inqilabında böyük nəticələrin ən çox gözlənilməli sahələrdən biridir. Bu gün səhiyyə sistemi əvvəlki onilliklərə nisbətən daha çox kompüterləşdirilmişdir, rentgen və tomoqrafiya öz yerini kompüter tomoqrafiyası və ultrasəs müayinələrinə, rəqəmsal tibb sistemlərinə verir [6].

Rəqəmsal tibb 4.0-in iki məqsədi var: yüksək keyfiyyətli səhiyyə xidmətlərinin göstərilməsi və daha az xərc, resursların səmərəli istifadəsi nəzərə alınmaqla səhiyyə xidmətlərində keyfiyyətin artırılması [7]. Rəqəmsal tibb 4.0 səhiyyə sahəsini təkmilləşdirmək, onu zamanın tələblərinə uyğunlaşdırmaq üçün 4-cü sənaye inqilabı texnologiyalarından istifadə imkanlarının geniş spektrinə istinad edir. Məqsəd vətəndaşlara daha yaxşı, daha dəyərli və daha sərfəli səhiyyə xidmətləri təqdim etməklə vətəndaş məmnunluğunu artırmaqdır.

Rəqəmsal tibb 4.0 səhiyyə xidmətlərini və səhiyyə sahəsində maraqlı tərəflər arasında əlaqələri yaxşılaşdırmaq üçün vətəndaşlar haqqında fərdi məlumatların analizini daha effektiv şəkildə apara bilər və bununla da bütün səhiyyə sənayesini passiv xidmətə əsaslanan, ödənişli sistemdən süni intellekt üzərində qurulmuş sistemə keçirməyə kömək edə bilər [8, 9].

Rəqəmsal tibb 4.0 səhiyyə təcrübəsini təkmilləşdirdikcə, səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini, çevikliyini, məhsuldarlığını, iqtisadi səmərəliliyini və etibarlılığını uğurla artırır. Əşyaların İnterneti, tibbi kiber-fiziki sistemlər, sağlamlıq buludu, sağlamlıq dumanı, big data analitikası, maşın təlimi, blokçeyn və ağıllı alqoritmlər Rəqəmsal tibb 4.0 sahəsinə integrasiya olunaraq istifadə olunmaqdadır [10].

III. RƏQƏMSAL TİBB 4.0 VƏ SOSIAL KREDİT SİSTEMİ

Süni intellektin, böyük verilənlərin analitikasının və fərdiləşdirilmiş səhiyyənin integrasiyası ilə xarakterizə olunan Rəqəmsal tibb 4.0 səhiyyə xidmətini dəyişdirməklə insanların rifahının yaxşılaşdırılmasına yönəlmişdir. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında sosial kredit potensial olaraq fərdin sağlamlığına təsir edən davranışını qiymətləndirmək və həyat tərzinə təsir etmək üçün müxtəlif mexanizmlər kimi ortaya çıxır. Fərdin sosial kreditin qiymətləndirilməsində ilk növbədə onun demoqrafik göstəriciləri, davranışı və sağlamlığı da daxil olmaqla bütün fərdi məlumatları istifadə olunur.

Sosial kreditin qiymətləndirilməsində nəticələrin nə dərəcədə dəqiq olmasını söyləmək çətindir. Lakin araşdırmalar göstərdi ki, sistemin işində əsas xəta fərdi məlumatlardakı qeyri dəqiqlik və bu məlumatların real zamanda əldə olunmasında yaranan çətinliklərdir [11]. Problemin aradan qaldırılması üçün SKS-nin Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında milli vahid reyestrlə işləməsi daha yaxşı nəticələr verə bilər. Belə ki, sosial kreditin qiymətləndirilməsində daha yüksək

dəqiqlik əldə etmək üçün fərdi məlumatların dəqiqliyi vacib şərtdir.

Rəqəmsal tibb 4.0 və sosial kredit sistemlərinin qarşılıqlı əlaqəsi insanların sosial kreditinin dəyişməsinə, həmçinin sosial kreditin sağlamlığa təsirində əsas amillərdəndir. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında fərdin sosial kreditinin dəyişməsi səbəbləri müəyyənləşdirilmişdir. Bunlar aşağıdakılardır:

- Sağlam həyat tərzinin saxlanması. Fiziki fəaliyyət, yuxu və qidalanma ilə bağlı daşına bilən qurğulardan alınan məlumatlar sosial krediti qiymətləndirərkən nəzərə alınır.
- Həkim məsləhətinə riayət. Dərmanların vaxtında qəbulu və tibbi tövsiyələrə əməl olunması sosial kreditə müsbət təsir edə bilər.
- Profilaktika proqramlarında iştirak. Skrining proqramlarında (sağlam şəxslərdə müəyyən bir xəstəliyi və ya onun inkişafı üçün risk faktorlarını müəyyən etməyə yönəlmiş tibbi tədbirlər kompleksi) və peyvənddə fəal iştirak sosial məsuliyyətli davranış və sosial krediti artırmaq kimi qəbul edilə bilər. Bəzi sistemlərdə məcburi peyvəndlərdən imtina sosial kreditin azalması ilə nəticələnə bilər.
- Pis vərdislər. Siqaret, alkoqol və ya narkotik istifadəsi ilə bağlı məlumatlar sosial kreditə mənfi təsir göstərə bilər."
- Karantinə uyğunluq. Karantin və ya özünütəcrid qaydalarını pozmaq sosial kreditə mənfi təsir göstərə bilər.
- Tibbdən sui-istifadə. Tez-tez heç bir ciddi səbəb olmadan təcili yardım çağırmaq və ya xəstəliyi simulyasiya etməklə işdən yayınmaq sosial kreditə mənfi təsir göstərə bilər.
- Xroniki vəziyyətlər. SKS-də xəstədə xroniki vəziyyətin olması cəmiyyət üçün risk faktoru kimi göründüyü üçün onun sosial kreditinə mənfi təsir göstərə bilər.
- Psixi sağlamlıq. Psixi sağlamlıq problemləri də yüksək sosial kreditin əldə olunması üçün ciddi maneələr yaradır.

SKS-nin tətbiqi fərdi məlumatların məxfiliyinin pozulması, vətəndaş azadlıqları və hüquqlarının məhdudlaşdırılması, cəmiyyətdə sosial bərabərsizliyin kəskinləşməsi ilə bağlı çoxlu mübahisələr və narahatlıqlar doğurub [12]. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında SKS-nin yaratdığı problemlər aşağıdakılardır:

- Verilənlərin məxfiliyi və təhlükəsizliyi məsələləri. Həssas tibbi məlumatları qorumaq üçün güclü informasiya təhlükəsizliyi tədbirləri tələb olunur.
- Vətəndaşların məlumatlandırılması problemləri. Vətəndaşlar onlar haqqında toplanan fərdi məlumatlar, onların necə istifadə ediləcəyi və mümkün nəticələr haqqında aydın və şəffaf məlumata malik olmalıdırlar.
- Bərabərlik və ədalət. SKS qərəzliyi azaltmaq və bütün vətəndaşların səhiyyə xidmətinə bərabər çıxışını təmin etmək üçün bütün mümkün imkanlardan istifadə edilməlidir.

- Şəffaflıq problemləri. Tibbi xidmətlərdən sui-istifadənin qarşısını almaq və ədaləti təmin etmək üçün alqoritmlər və qərar qəbul etmə prosesləri şəffaf və hesabatlı olmalıdır.
- Hüquqi məsələlər. SKS-nin tətbiqi şəxsi toxunulmazlıq, ayrı-seçkiliyə yol verilməməsi hüququ da daxil olmaqla fundamental insan hüquqları prinsiplərinə uyğun olmalıdır.

IV. RƏQƏMSAL TİBB 4.0 TƏSİRİ İLƏ SOSIAL KREDIT SİSTEMİNİN GƏLƏCƏK PERSPEKTİVLƏRİ

Digər sahələrdə olduğu kimi müasir tibbdə də süni intellekt texnologiyaları yeni və mürəkkəb modelləşdirmə və optimallaşdırma metodları təklif edir, koqnitiv təsirlər getdikcə daha çox nəzərə alınır və texnoloji metodların inkişafında insan faktorları inteqrasiya olunur. SKS bu yeniliklərdən istifadə etməklə səhiyyə xidmətinin göstərilməsinin sosial və texniki imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirərək səhiyyənin keyfiyyətini, əhəlinin sağlamlığını və vətəndaş məmnunluğunu yüksəltmək üçün geniş potensiala malikdir. Başqa sözlə, SKS-nin Rəqəmsal tibb 4.0 sisteminə inteqrasiyası fərdlər, icmalar və bütövlükdə cəmiyyət üçün əhəmiyyətli faydalar gətirə bilər. Tibb xidmətləri fərdin sosial kreditinə təsir etdiyi kimi, sosial kredit də bu xidmətlərin əlçatan olmasını təmin edir. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında fərdin sosial kreditinin yüksəldilməsi üçün aşağıdakı təkliflər işlənmişdir:

- Sağlam həyat tərzinə keçid. Bəzi hallarda yüksək sosial kredit fərdin müntəzəm məşq etmək və ya pis vərdislərdən çəkinmək kimi sağlam həyat tərzini seçimlərini mükafatlandırma üsulu ola bilər. SKS xüsusi rejimlərə riayət etmək, müntəzəm məşqlər və profilaktik fəaliyyət kimi sağlam davranışı təşviq edə bilər.
- Fərdin öz səhhəti haqqında məlumatlılıq. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında SKS-nin fərdin sağlamlığı haqqında bütün məlumatlara malik olması və verilənlərin intellektual analiz səhiyyə resurslarının səmərəli şəkildə paylanması, SKS-nin sağlamlıq risklərini zamanında müəyyən etməsi və bu istiqamətdə düzgün qərarların qəbulunda faydalı ola bilər. SKS sağlamlıq göstəricilərinə davamlı olaraq nəzarət etmək, real vaxt rejimində rəy və fərdi tövsiyələr təqdim etmək üçün daşınan qurğulardakı və sensorlar tərəfindən toplanan məlumatlardan istifadə edə bilər.
- Həkimin tövsiyələrinə uyğunluq. Həkim tövsiyələrinə düzgün əməl etməklə dərman qəbul etmək və ya testlərdən keçmək kimi davranışlar sosial kreditə müsbət təsir göstərə bilər.
- Səhiyyə xidmətlərinin əlçatanlığı. Yüksək sosial kreditə malik vətəndaşların səhiyyə xidmətlərinə çıxışı maneəsizdir, aşağı sosial kreditə malik vətəndaşların isə səhiyyə xidmətlərinə məhdud çıxışı ola bilər. SKS uzaqdan tibbi monitorinqləri və teletibb məsləhətləşmələrini asanlaşdırır, uzaq və ya az xidmət edilən ərazilərdə olan fərdlərin səhiyyəyə çıxışını yaxşılaşdırır.
- Sığorta xidmətləri. Sosial kredit tibbi sığortanın qiymətinə təsir göstərə bilər.

- Düzgün siyasət. Rəqəmsal tibb 4.0 ilə əlaqəli işləyən SKS karantin tədbirlərinə və ya peyvənd proqramlarına riayət etməyi təşviq etməklə pandemiya kimi ictimai səhiyyə böhranlarının idarə edilməsində mühüm rol oynaya bilər. Real vaxt rejimində məlumatların analizi xəstəliyin yayılmasının nəzarətdə saxlanması və ictimai səhiyyə siyasətinin düzgün aparılmasını təmin edə bilər.
- Digər xidmətlər. Səhiyyə məlumatlarına əsaslanan sosial kredit təhsil, məşğulluq və ya kredit kimi digər xidmətlərə çıxışa təsir göstərə bilər.

V. NƏTİCƏ

Rəqəmsal tibb 4.0 ilə SKS-nin integrasiyası səhiyyə sahəsində, onun inkişafında və daha səmərəli olmasında yeni imkanlar yaratsa da, yeni problemlər də gətirir. SKS sağlam həyat tərzini təşviq etmək və səhiyyə xidmətinin göstərilməsini optimallaşdırmaq potensialına malik olsa da, məxfilik, ədalətlik və vətəndaş hüquqları ilə bağlı ciddi etik problemlər də vardır.

Süni intellekt, virtual realıq, 3D çap, robototexnika və nanotexnologiya kimi rəqəmsal sağlamlıq texnologiyalarında irəliləyişlər səhiyyə sistemini dəyişməkdədir. Süni intellektlə təmin olunmuş SKS ənənəvi tibbi informasiya sistemlərini davamlı sistemlərə çevirmək potensialına malikdir. Bu iki sistemin integrasiyası səhiyyə sektorunda bir sıra mühüm praktiki nəticələrə gətirib çıxara bilər:

1. Fərdi səhiyyə xidmətlərinin təkmilləşdirilməsi. SKS, xəstələrin səhiyyə davranışları haqqında məlumatları toplayaraq, həkimlərə daha fərdi və effektiv müalicə planları hazırlamağa kömək edə bilər. Məsələn, müntəzəm olaraq həkimə gedən, təyin olunmuş müalicəni düzgün yerinə yetirən və sağlam həyat tərzini sürən xəstələr yüksək sosial kredit reytingi alacaq və bu da onlara daha yaxşı səhiyyə xidmətlərinə çıxış imkanı yaradacaq.

2. Səhiyyə xərclərinin azaldılması. SKS, insanları sağlam həyat tərzini sürməyə təşviq etməklə, xəstəliklərin sayını azalda və bununla da səhiyyə xərclərini azalda bilər.

3. Səhiyyə sisteminin effektivliyinin artırılması. SKS, səhiyyə resurslarının daha effektiv bölüşdürülməsinə kömək edə bilər. Məsələn, yüksək reytingli xəstələrə daha sürətli və keyfiyyətli xidmət göstərilə bilər, aşağı reytingli xəstələr isə daha çox profilaktik tədbirlərə cəlb edilə bilər.

4. Xəstəliklərin yayılmasının qarşısının alınması. SKS, yoluxucu xəstəliklərin yayılmasının qarşısını almağa kömək edə bilər. Məsələn, peyvənd olunmaqdan imtina edən və ya karantin qaydalarına riayət etməyən insanlar aşağı reyting

alacaq və bu da onların ictimai yerlərdə olmasına məhdudiyyətlər gətirə bilər.

5. Tibbi araşdırmaların təkmilləşdirilməsi. SKS, böyük həcmdə səhiyyə məlumatlarının toplanmasına və analizinə imkan yaradaraq, tibbi araşdırmaları sürətləndirə bilər. Bu məlumatlar, yeni müalicə üsullarının və dərmanların hazırlanmasına kömək edə bilər. Nəzərə almaq lazımdır ki, üstünlüklərinə baxmayaraq Rəqəmsal tibb 4.0 konsepsiyasına uyğun gələn səhiyyə proqram təminatının yaradılması və işlədilməsi çox vaxt yüksək ixtisaslaşmış təcrübə tələb edən mürəkkəb işdir. Bu konsepsiyanın reallaşdırılmasında uğur əldə etmək üçün SKS-nin imkanlarından istifadə etmək daha məqsəduyğundur. Rəqəmsal tibb 4.0 platformasında SKS-nin cəmiyyətə təsirlərini tam başa düşmək və onun tətbiqi üçün ən yaxşı təcrübələri inkişaf etdirmək üçün əlavə tədqiqatlara ehtiyac var.

İSTİNA DLAR

- [1] C. Hatton, “China social credit: Beijing sets up huge system”, 2015, <http://www.bbc.com/news/world-asia-china-34592186>.
- [2] M. Pohlmann, “George Orwell in China – digitization as a method of total social control”, 2018, <https://heigos.hypotheses.org/8546>
- [3] A. Haleem, M. Javaid, R. P. Singh and R. Suman, “Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications”, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2022, vol. 2, pp. 12-30.
- [4] H. Wang, J. Zhang, M. Cai, R. Yang, P. Guan, Z. Li and Z. Ye, “Development of surgical robots: A brief history”, *Digital Medicine*, 2024, vol. 10, no. 4, e24-00005.
- [5] Z. Liu, L. Ren, C. Xiao, K. Zhang and P. Demian, “Virtual reality aided therapy towards health 4.0: A two-decade bibliometric analysis”, *International journal of environmental research and public health*, 2022, vol. 19, no. 3, 1525. DOI: 10.3390/ijerph19031525
- [6] C. Thuemmler and C. Bai, “Health 4.0: Application of Industry 4.0 Design Principles in Future Asthma Management”, *Springer International Publishing: Cham, Switzerland*, 2017; pp. 23–37.
- [7] J. Al-Jaroodi, N. Mohamed and Abukhousa, E. “Health 4.0: On the Way to Realizing the Healthcare of the Future”, *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 211189–211210.
- [8] M. Bause; Esfahani, B.K.; Forbes, H. and Schaefer, D. “Design for Health 4.0: Exploration of a New Area”, *Proceedings of the Design Society International Conference on Engineering Design*. 2019, vol. 1, pp. 887–896.
- [9] D. Kocheva, What is Health 4.0? *Digital Healthcare*, 2021, <https://healthcare-digital.com/digital-healthcare/what-health-40>
- [10] K. Ramamurthy, S. Kulanthaivelu, K. M. Sagayam and S. Dutta, “Technologies for Healthcare 4.0: From AI and IoT to Blockchain”, *IET*, 2023, 273 p. <https://doi.org/10.1049/PBHE058E>.
- [11] R. M. Alguliyev and I. Y. Alakbarova, “Social Credit System as a New Tool in the Management of Citizens' Behavior: Problems and Prospects”, *International Journal of Education and Management Engineering*, 2021, vol. 11, no. 5, pp. 1–12.
- [12] V. Brussee, “Social credit: the warring states of China's emerging data empire”, *Singapore: Palgrave Macmillan*, 2023, vol. 1, pp. 54–56.

Şifrləmə Metodlarından İstifadə Etməklə Mərkəzləşdirilmiş Fərdi Tibbi Məlumat Bazalarının Kibertəhlükəsizliyinin Təmin Edilməsi

Araz Mustafa

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
araz.mmustafa@gmail.com

Xülasə— Fərdi tibbi məlumatların məxfiliyinin və təhlükəsizliyinin təmin edilməsi müasir dövrdə ən vacib məsələlərdən biridir. Xüsusilə səhiyyə sistemlərinin rəqəmsallaşmasının geniş istifadə olunduğu bir dövrdə fərdi tibbi məlumatların qorunması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Dünya üzrə səhiyyə təşkilatları və dövlətlər bu məsələyə ciddi yanaşaraq müxtəlif təhlükəsizlik protokolları və şifrləmə metodları tətbiq edirlər. Tədqiqat işində mərkəzləşdirilmiş fərdi tibbi məlumat bazalarının kibertəhlükəsizliyinin təmin edilməsi məsələləri araşdırılmış və onların kibertəhlükəsizliyini artırmaq üçün istifadə olunan əsas şifrləmə metodları analiz edilmişdir.

Açar sözlər— fərdi tibbi məlumatların təhlükəsizliyi, məlumatların şifrlənməsi, verilənlər bazasının şifrlənməsi, tibbi verilənlər bazalarının şifrlənməsi, pasiyentlərin fərdi məlumatlarının təhlükəsizliyi

I. GİRİŞ

Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və geniş tətbiqi səhiyyə sistemlərində məlumatların elektron formada idarə olunması və saxlanılmasını zəruri hala gətirmişdir. Bu dəyişikliklər səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətinin və əlçatanlığının artırılmasına müsbət təsir göstərsə də, eyni zamanda fərdi tibbi məlumatların məxfiliyinin və təhlükəsizliyinin təmin olunması ilə bağlı yeni risklər və çağırışlar yaratmışdır [1]. Fərdi tibbi məlumatlar öz həssaslığı baxımından xüsusi qorunma tələb edir. Bu məlumatların icazəsiz əldə olunması, dəyişdirilməsi və ya yayılması həm hüquqi, həm də etik problemlərə səbəb ola bilər. Bu baxımdan mərkəzləşdirilmiş tibbi məlumat bazalarının kibertəhlükəsizlik məsələləri xüsusi aktuallıq kəsb edir. Belə sistemlərin mühafizəsi üçün müxtəlif təhlükəsizlik protokolları və şifrləmə texnologiyalarından istifadə olunur [2]. Tədqiqat işində səhiyyədə toplanan fərdi məlumatlar, onların mərkəzləşdirilmiş qaydada saxlanılmasının əhəmiyyəti, təhlükəsizlik məsələləri araşdırılmışdır. Bununla yanaşı mərkəzləşdirilmiş fərdi tibbi məlumat bazalarının kibertəhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə tətbiq olunan əsas şifrləmə metodları analiz edilmişdir.

II. SƏHIYYƏDƏ TOPLANAN FƏRDI MƏLUMATLAR

Səhiyyədə toplanan fərdi məlumatlar dedikdə, səhiyyə, tibb, sağlamlıq müəssisələri tərəfindən daxil edilən, eyni zamanda istifadə edilən məlumatlar başa düşülür [3]. Məlumatlar yalnız həkimlər və tibbi personal tərəfindən deyil,

eyni zamanda avadanlıqlar - kiber fiziki sistemlər, müxtəlif tibbi cihazlar, diaqnostika maşınları və s. tərəfindən də avtomatik daxil edilə bilər. Fərdin nəbz, qan təzyiqi, bədən temperaturu kimi bioloji göstəricilər, ağıllı tibbi cihazlardan və adi daşıyan cihazlardan daxil olan tibbi məlumatlar da bu tipli məlumatlardır [4].

Ümumilikdə səhiyyədə toplanan fərdi məlumatları şəkil 1-dəki kimi sinifləndirə bilərik:

Səhiyyədə toplanan fərdi məlumatlar	a. Fərdi identifikasiya məlumatları
	b. Sağlamlıq tarixçəsi
	c. Cari sağlamlıq vəziyyəti
	d. Resept məlumatları
	e. Genetik məlumatlar
	f. Biometrik məlumatlar
	g. Tibbi təsvirlər
	h. Sığorta və ödəniş məlumatları

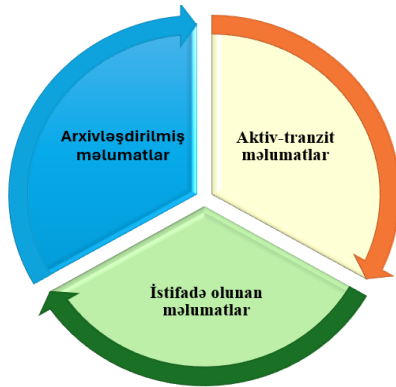
Şəkil 1. Səhiyyədə toplanan fərdi məlumatlar.

- Fərdi identifikasiya məlumatları: ad, soyad, doğum tarixi, sənəd və əlaqə məlumatları;
- Sağlamlıq tarixçəsi: keçirdiyi xəstəliklər, cərrahi əməliyyatlar, allergiyalar, xroniki xəstəliklər və s.;
- Cari sağlamlıq vəziyyəti: qoyulmuş diaqnozlar, hazırkı müalicə planı, analizlərin nəticələri;
- Resept məlumatları: qəbul edilən dərmanlar, onların dozaları və istifadə qaydası;
- Genetik məlumatlar: genetik test nəticələri, ailəvi xəstəlik riskləri, irsi xəstəliklər;
- Biometrik məlumatlar: Barmaq izi, üz quruluşu, gözün torlu qışası, göz bəbəyi və s.;

- g. Tibbi təsvirlər: rentgen şəkilləri, Maqnit Rezonans Tomografiyası (MRT), Kompüter Tomografiya (KT) və s.;
- h. Sığorta və ödəniş məlumatları: tibbi xidmətlərə görə ödənişlər, sığorta növü, təminatı və s.

Səhiyyədə toplanan məlumatların təhlükəsiz şəkildə saxlanması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Pasiyentin sağlamlıq vəziyyətinin izlənilməsi və əvvəlki tibbi məlumatlara müraciət edilməsi müalicə prosesində vacib rol oynayır. Ümumilikdə, fərdi tibbi məlumatların saxlanılmasını şəkil 2-dəki kimi üç səviyyəyə ayırmaq olar [5]:

- Aktiv- tranzit məlumatlar;
- İstifadə olunan məlumatlar;
- Arxivləşdirilmiş məlumatlar.



Şəkil 2. Tibbi məlumatların saxlanması.

Cari - aktiv məlumatlar hazırda müxtəlif sistemlər və şəxslər tərəfindən istifadə edilən fərdin sağlamlıq məlumatları olub, eyni zamanda şəbəkə vasitəsilə ötürülən verilənlərdir. *İstifadə olunan məlumatlar* hazırda dəyişdirilən və ya daxil edilən məlumatlardır. Bu məlumatlar tez-tez yenilənir və istifadə zamanı dəyişdirilir. *Arxivləşdirilmiş məlumatlar* müəyyən müddət sonra pasiyentin sağlamlıq məlumatlarının keçmişini saxlayır. Arxivləşdirilmiş məlumatlar dedikdə uzun müddət istifadə olunmamış və qeyri-aktiv olan məlumatlar başa düşülür. Lakin bu məlumatlar gələcəkdə diaqnostik qərarlar və tibbi analizlər üçün əhəmiyyətli ola bilər.

Sağlamlıq məlumatlarının daha tez, lazım olduğu anda və istənilən məkanda əlçatan olmasını həyata keçirmək üçün mərkəzləşdirilmiş tibbi məlumat bazalarının yaradılmasına ehtiyac yaranmışdır. Belə məlumat bazaları, məlumatların effektiv saxlanmasını və idarə olunmasını təmin etməklə yanaşı, səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini də artırır.

III. FƏRDI TİBBİ MƏLUMATLARIN MƏRKƏZLƏŞDİRİLMİŞ QAYDADA SAXLANMASININ ƏHƏMİYYƏTİ

Müasir səhiyyə sistemlərində Fərdi Sağlamlıq Məlumatlarının (PHI) mərkəzləşdirilmiş şəkildə toplanması və idarə olunması tibbi xidmətlərin səmərəliliyinin və

keyfiyyətinin artırılması baxımından mühüm rol oynayır. Bu yanaşma həkimlərə pasiyentin tibbi tarixçəsinə, diaqnostik nəticələrinə və aparılmış müalicə prosedurlarına daha operativ şəkildə çıxış imkanı yaradaraq qərarvermə prosesini sürətləndirir və optimallaşdırır [6].

Mərkəzləşdirilmiş məlumat sistemləri təkrarlanan analizlərin, diaqnostikaların və ya prosedurların qarşısını almaqla həm səhiyyə resurslarına qənaət edir, həm də pasiyentlərin vaxt itkisinin, əlavə tibbi xərclərinin azalmasına kömək edir. Bu, xüsusilə təcili tibbi müdaxilələr zamanı çox böyük əhəmiyyət daşıyır. Çünki real vaxt rejimində toplanan biometrik və fizioloji göstəricilər həkimlərin qərarvermə prosesinə kömək edir və pasiyentin həyatını xilas etməyə yardımçı olur [7].

Digər mühüm məsələ mərkəzləşdirilmiş məlumat bazalarında toplanmış fərdi məlumatların təhlükəsizliyinin təmin edilməsidir. Mərkəzləşdirilmiş sistemlərdə informasiya təhlükəsizliyi üzrə beynəlxalq standartlara uyğun tədbirlər, o cümlədən girişə nəzarət, nəzarət loqları və məlumatların şifrələnməsi tətbiq olunaraq məlumatların icazəsiz istifadəsinin və sızmasının qarşısı alınmalıdır [8]. Bu həm pasiyentlərin hüquqlarının qorunması, həm də ictimaiyyətin etimadının təmin olunması baxımından zəruridir [9].

Eyni zamanda, geniş həcmli tibbi məlumatların mərkəzləşdirilmiş qaydada saxlanması elmi-tədqiqat və statistik təhlillər üçün böyük imkanlar yaradır. Xəstəliklərin yayılma dinamikası, müalicə üsullarının effektivliyi, əhali arasında risk faktorlarının müəyyən edilməsi və profilaktik tədbirlərin planlaşdırılması bu məlumatların analizi əsasında həyata keçirilə bilər [10].

Nəhayət, mərkəzləşdirilmiş sistemlər səhiyyə qurumları, laboratoriyalar, sığorta şirkətləri və dövlət orqanları arasında inteqrasiya və koordinasiyanı gücləndirir. Bu da ölkə üzrə e-səhiyyə strategiyasının həyata keçirilməsi və vətəndaşların sağlamlıq xidmətlərinə daha əlçatan şəkildə çıxışının təmin olunması üçün mühüm baza rolunu oynayır.

IV. SƏHIYYƏDƏ KİBERTƏHDİDLƏR VƏ MƏLUMATLARIN QORUNMASI

Mərkəzləşdirilmiş fərdi sağlamlıq məlumatları yuxarıda da qeyd edildiyi kimi hər hansı fərdin tibbi məlumatları - xəstəlik tarixçəsi, diaqnozları, müalicə məlumatları, müayinə olunduqları həkim, onlara yazılmış reseptlər kimi kritik informasiyaları özündə saxlayan məlumatlar başa düşülür. Sağlamlıq məlumatlarının mərkəzləşdirilmiş bazada saxlanmasının bir çox müsbət cəhətləri olsa da, müəyyən riskləri və çətinlikləri də mövcuddur. Sağlamlıq məlumatlarının mərkəzləşdirilmiş bazada saxlanması zamanı ən böyük risklərdən biri məxfiliyin pozulması ehtimalıdır. Tibbi məlumat bazalarında toplanan fərdi məlumatlar kibercinayətkarların və ya bu məlumatlardan sui-istifadə etmək istəyənlərin əsas hədəfinə çevrilə bilər. Belə ki, bu cür sistemlərə yönəlməmiş kiberhücumlar nəticəsində xəstələrin şəxsi və sağlamlıq məlumatları üçüncü şəxslərin əlinə keçə bilər. Məlumatların icazəsiz əldə edilməsi həm hüquqi, həm də etik baxımdan ciddi problemlərə yol açə bilər. 2023-cü ildə aparılan araşdırmalar səhiyyə sahəsində kiberhücumların 60%-dən çoxunun tibbi məlumat bazalarına yönəldiyini göstərmişdir [11].

Belə hücumlar yalnız məlumat sızması ilə nəticələnir, həm də xəstəxanaların fəaliyyətinin dayanmasına, pasiyentlər üçün məlumatlarının paylaşılması, oğurlanması və s. kimi ciddi təhlükələrin yaranmasına səbəb ola bilər [12]. Ümumiyyətlə, rəqəmsal transformasiyanın inkişaf etdiyi bir dövrdə kiberhücumların sayının kəskin şəkildə artması səhiyyə sahəsinin də ən çox hədəf alınan sahələrdən birinə çevrilməsinə səbəb olmuşdur.

Bu göstərilən məsələlər sağlamlıq məlumatlarının risk altında olması səbəbilə onların qorunmasının vacibliyini daha da artırmış və fərdi məlumatlarının təhlükəsizliyin təmin edilməsi zəruriyyəti yaratmışdır. Bu məlumatların qorunmasının zəruriliyi ABŞ-in *Sağlamlıq Sığortasının Daşınması və Hesabatlılığı Aktı* (Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA), eyni zamanda Avropa İttifaqının *Ümumi Məlumatların Qorunması Qaydası* (General Data Protection Regulation, GDPR) standartlarında göstərilmişdir. Burada pasiyentlərin fərdi tibbi məlumatları Mühafizə olunan Sağlamlıq Məlumatları (PHI - Protected Health Information) və Fərdi İdentifikasiya Məlumatları (PII – Personally Identifiable Information) kimi iki qrupa bölünür [13].

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, səhiyyə sənayesində məlumatların qorunması avadanlıqların təminatçılarından başlayır. Belə ki, səhiyyə avadanlıqlarının istifadəçiləri və təminatçıları, eyni zamanda xəstəxanalar xəstələrə xidmət göstərərək və HIPAA, GDPR kimi standart və qaydaların tələblərinə cavab verməli, məlumatların məxfiliyinin qorunması ilə bağlı lazımı işlər görməlidirlər. Mühafizə olunan sağlamlıq məlumatı fərdin ən həssas (və cinayətkarlar üçün, qiymətli) şəxsi məlumatları arasında olduğundan, pasiyentlərin məlumatlarını idarə edən, istifadə edən və ya daxil edən tibb işçiləri və ya digər təşkilatlar da göstərilən standartlara və qaydalara mütləq şəkildə ciddi əməl etməlidirlər. Kiberhücumlardan qorunmaq, eyni zamanda onları mühafizə etmək informasiya təhlükəsizliyinin əsas məqsədlərindən biridir. Bunun üçün müxtəlif texniki, təşkilati və hüquqi tədbirlərin görülməsi vacibdir. Bu tədbirlərə qaydaların hazırlanması, çoxfaktorlu autentifikasiya, zərərli proqramlara qarşı preventiv tədbirlərin görülməsi, sistemdəki boşluqların aradan qaldırılması, monitorinqlərin aparılması və s. kimi işlər daxildir.

V. SƏHIYYƏDƏ ŞİFRLƏMƏ METODLARININ TƏTBİQİ

Mərkəzləşdirilmiş fərdi tibbi məlumat bazalarının qorunması, təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün əsas alətlərdən biri şifrləmə (kriptografiya) metodlarından istifadə etməkdir. Tibbi məlumatların qorunması üçün istifadə edilən şifrləmə texnologiyaları arasında simmetrik, asimmetrik, homomorfik və blokçeyn əsaslı şifrləmə metodları mövcuddur [14]. Bu texnologiyalar yalnız məlumatların məxfiliyini təmin etmir, həm də onların icazəsiz dəyişdirilməsinin qarşısını alır. Şifrləmə metodlarının tətbiqi həssas məlumatları oxunması mümkün olmayan formata çevirir və kənar şəxslərin məlumat bazasına girişi zamanı məlumatların təhlükəsiz qalmasını təmin edir. Güclü şifrləmə metodlarının istifadəsi məlumatları həm verilənlər bazasında etibarlı şəkildə saxlayır, həm də sistemlərarası məlumatların ötürülməsi zamanı qorunmasına kömək edir.

Simmetrik Şifrləmə. Simmetrik şifrləmə məlumatların mühafizə edilməsi üçün geniş istifadə olunan üsullardan biridir. Simmetrik şifrləmədə eyni açarla həm məlumatın şifrlənməsi (encrypt), həm də deşifrə olunması (decrypt) üçün istifadə olunur. Yəni, məlumatı alan şəxs də, göndərən şəxs də eyni gizli açarı paylaşır. Həm resurs, həm də sürət baxımından üstünlüyə malik olan bu şifrləmə metodunun müəyyən mənfi tərəfləri də vardır. Açarlara təvəllülə ötürülməsi zamanı üçüncü şəxslərin əlinə keçə bilmə mümkünlüyü onun çatışmayan cəhətidir. Açarlara kifayət qədər güclü şəkildə qorunmasa bu zaman sistemə kənar müdaxilələrin olması mümkündür. Bu səbəbdən, simmetrik şifrləmə çox zaman asimmetrik şifrləmə ilə birlikdə istifadə olunur [14].

Nümunə: Qarşı tərəfə “*Siz tam sağlamsınız*” mətnini təhlükəsiz şəkildə göndərmək tələb olunur. Şifrləmə zamanı müxtəlif blok şifrləmə rejimləri mövcuddur. Onlardan biri olan Electronic Codebook (ECB) rejimi ilə məlumat bloklara ayrı-ayrı şifrlənir. Bu nümunədə “iamsecretkeyforAES256iamsecretkey” adlı açar sözündən istifadə olunmuşdur. Bu açar AES-256 alqoritminə uyğun uzunluqdadır. Sözügedən açarla və ECB rejimi ilə şifrləmə aparıldıqda, nəticədə aşağıdakı kodlaşdırılmış şifrlə mətn əldə olunur:

MtN35l9Ghbs9rp04WMe1RA9J8Yp1Jo4gzRfpXWs8suw=

Yuxarıda qeyd edilən açar sözədən istifadə etməklə təhlükəsiz şəkildə göndərilən mətni oxumaq mümkündür. Bu şifrlənmiş məlumat yalnız eyni açar və eyni şifrləmə rejimi istifadə edilməklə deşifrə edilə bilər.

Asimmetrik Şifrləmə. Asimmetrik şifrləmə zamanı məlumatlar iki fərqli açarın köməyi ilə qorunur. Bu açarlardan biri “açıq açar” (public key) — istənilən şəxsə təqdim edilə bilər, digəri isə “xüsusi açar” (private key) — yalnız sahibində olur və gizli saxlanılır. Məlumat ötürülərkən göndərici qarşı tərəfin açıq açarını istifadə edərək məlumatı şifrləyir. Şifrlənmiş məlumat isə yalnız həmin açara uyğun gələn xüsusi açarla deşifrə edilə bilər. Yəni, iki fərqli, lakin bir-biri ilə əlaqəli açardan istifadə olunur. Bu metodun əsas üstünlüyü — açarın ötürülməsi zərurətini aradan qaldırmasıdır. Beləliklə, məlumat ötürülərkən gizlilik və bütövlük yüksək səviyyədə təmin olunur. Ən çox istifadə olunan asimmetrik alqoritmlərə RSA (Rivest–Shamir–Adleman), ECC (Elliptic Curve Cryptography), DH (Diffie–Hellman), ElGamal və DSA (Digital Signature Algorithm) alqoritmlərini misal göstərmək olar [16]. Bu yanaşma, elektron sağlamlıq qeydlərinin mühafizəsi, randevu sistemləri, təhlükəsiz laboratoriya nəticələrinin ötürülməsi kimi sahələrdə geniş istifadə olunur.

Nümunə: Tutaq ki, bir xəstə elektron səhiyyə sistemindəki rəy və diaqnoz sənədini öz şəxsi həkiminə göndərmək istəyir. Xəstənin məlumatları həkimin açıq açarı ilə şifrlənir. Bu sənədləri isə yalnız həkim öz şəxsi (private) açarı ilə açar.

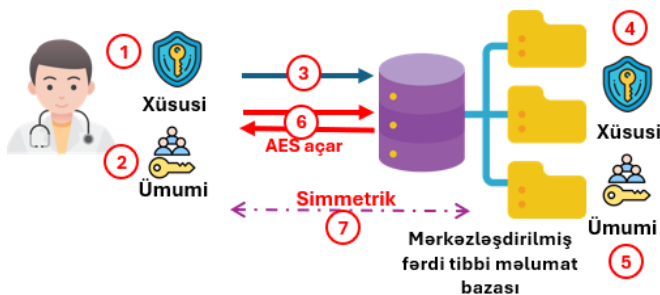
Bu halda: Xəstə həkimin açıq açarını istifadə edərək məlumatı şifrləyir. Həkim isə həmin məlumatı xüsusi açarı ilə deşifrə edir. Nəticə etibarlı ilə heç kim bu məlumat digər şəxslər tərəfindən oxunula bilmir.

Homomorfik Şifrləmə. Bu metod məlumatları deşifrə etmədən, yəni açmadan, onların üzərində hesablama və analiz aparmağa imkan verən qabaqcıl şifrləmə texnologiyasıdır. Bu

texnologiyanın əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, məlumatlar gizli qaldığı halda onların üzərində statistik və ya riyazi əməliyyatlar aparmaq mümkündür [15].

Nümunə: Tutaq ki, bir ölkənin Səhiyyə Nazirliyi bir neçə xəstəxanadan COVID-19-a yoluxma halları, xəstə yaş qrupları və müalicə nəticələri ilə bağlı statistik məlumat toplamaq istəyir. Lakin bu xəstəxanalar xəstələrin şəxsi məlumatlarının paylaşılmasını istəmir. Bu zaman homomorfik şifrələmə aşağıdakı kimi tətbiq olunur: ilk öncə hər bir xəstəxana öz məlumatlarını homomorfik şəkildə şifrələyir (məsələn: yaş, simptom müddəti, müalicəyə cavab). Bu şifrəli məlumatlar mərkəzi sistemə göndərilir. Mərkəzi server deşifrə etmədən bu məlumatlar üzərində ortalama yaş, yoluxma sürəti və s. kimi statistik hesablama aparır. Yalnız ümumi nəticə deşifrə edilir – fərdi məlumatlar tamamilə gizli qalır. Hal-hazırda bu texnologiya geniş şəkildə tətbiq olunmasa da, rəqəmsal səhiyyə, maliyyə, bulud hesablama və statistik analiz kimi sahələrdə böyük potensiala malikdir.

Hibrid Şifrələmə. Müasir dövrdə informasiyanın saxlanması və axını zamanı ən çox istifadə edilən şifrələmə metodlarından biri də hibrid şifrələmədir. Bu yanaşma həm simmetrik, həm də asimmetrik şifrələmənin üstünlüklərini özündə cəmləyərək təhlükəsiz və göstərici baxımından daha optimal yanaşma hesab olunur. Burada simmetrik şifrələmə məlumatların həm sürətli, həm də effektiv şəkildə şifrələnməsi üçün istifadə olunur. Lakin bu zaman açarların təhlükəsizliyi risk altında olur. Digər tərəfdən asimmetrik şifrələmə açarların ötürülməsi üçün təhlükəsiz hesab olunur. Bununla belə, asimmetrik metodlar simmetrik metodlara nisbətən daha yavaşdır və böyük həcmli məlumatların şifrələnməsi üçün qeyri-effektivdir. Bunları nəzərə alaraq, hibrid sistemlərdə hər iki – metodun üstünlüklərindən istifadə olunur. Bu yanaşmada ilkin mərhələdə təhlükəsiz kanal (məsələn, TLS/SSL tuneli) yaradılır. Bu kanal vasitəsilə simmetrik açar asimmetrik şifrələmə ilə ötürülür. Hibrid şifrələmə zamanı ilk öncə RSA ilə istifadəçilər arasında təhlükəsiz tunel qurulur və bu tunel vasitəsilə simmetrik AES açarları ötürülür. Bundan sonra, bütün məlumat ötürmələri AES ilə – yəni daha sürətli simmetrik şifrələmə ilə həyata keçirilir. Şəkil 3-də hibrid metodun əyani izahı verilmişdir [15].



Şəkil 3. Hibrid metodun əyani təsviri.

Hibrid metodun ardıcılığı aşağıda qeyd olunmuşdur.

- Həkim göndərmək istədiyi mətni öz xüsusi açarı ilə rəqəmsal imza vasitəsilə imzalayır (fərdi identifikasiya təmin olunur).

- İmzalanmış mətn, Mərkəzləşdirilmiş Fərdi Tibbi Məlumat Bazasının (MFTMB) açıq açarı ilə şifrlənir.
- Həkim bu şifrlənmiş və imzalanmış mətni MFTMB sistemində ötürür.
- MFTMB öz xüsusi açarını istifadə edərək şifrlənmiş məlumatı deşifrə edir və həkimin rəqəmsal imzasını yoxlayır.
- İmzanın düzgünlüyü təsdiqləndikdə, sistem məlumatı etibarlı mənbədən gəlmiş kimi qeydə alır.
- Asimmetrik şifrələmə təmin edildikdən sonra sistem həkimlə və ya digər sistemlərlə məlumat mübadiləsi üçün təhlükəsiz tunel (məsələn, TLS/SSL) qurur və RSA açarlarının mübadiləsi həyata keçirilir.
- Mübadilə zamanı təsdiqlənmiş simmetrik açar yaradılır və məlumatlar bu açar vasitəsilə simmetrik üsulla (məsələn AES ilə) şifrlənir.

Şifrlənmiş məlumatlar tərəflər arasında təhlükəsiz şəkildə mübadilə edilir.

VI. NƏTİCƏ

Fərdi sağlamlıq məlumatlarının mərkəzləşdirilmiş şəkildə toplanması və idarə olunması müasir səhiyyə sistemlərinin rəqəmsal transformasiyasında vacib rol oynayır. Bu yanaşma tibbi xidmətlərin effektivliyini artırmaqla yanaşı, eyni zamanda tibbi məlumatların təhlükəsizliyi, idarəetmə və resursların optimallaşdırılması, o cümlədən elmi tədqiqatların aparılması üçün daha da əlverişlidir. Bununla yanaşı bu sistemlərin etibarlılığı, davamlılığı və informasiya təhlükəsizliyinin təmin olunması üçün müasir texnologiyalara əsaslanan yanaşmaların səhiyyə sistemlərində tətbiqi vacibdir. Mərkəzləşdirilmiş tibbi məlumatlar bazasında toplanan fərdi məlumatların mühafizəsinin əhəmiyyəti vurğulanmış, bu məlumatların ötürülməsinin və saxlanılmasının mühafizəsi məqsədi ilə şifrələmə metodları analiz edilmiş və mövcud metodların səhiyyədə tətbiqi nümunələrlə izah edilmişdir.

Rəqəmsallaşan səhiyyə sistemlərində fərdi sağlamlıq məlumatlarının təhlükəsizliyini təmin etmək üçün müasir kriptografiya üsullarının tətbiqi zəruridir. Bu, pasiyentin fərdi və sağlamlıq məlumatlarının qorunması, məlumat sızmalarının qarşısının alınması və etibarlı rəqəmsal səhiyyə infrastrukturunun qurulması baxımından əhəmiyyət kəsb edir.

İSTINADLAR

- [1] T. C. Rindfleisch, “Privacy, information technology, and health care”, Communications of the ACM, 1997, 40(8), 92–100.
- [2] A.F. Westin, “Computers, Health Records, and Citizen Rights”, National Bureau of Standards, Monograph 157, US Government Printing Office, Washington, DC, p. 1976
- [3] Protecting Privacy in Computerized Medical Information. OTA-TCT-576, US Government Printing Office, Washington, DC, 1993.
- [4] A.M. Mustafa, “Analysis of Sources of Personal Data Formation in Cyber-Physical Social Systems”, IEEE 17th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). October 2023, pp.1–4.
<https://doi.org/10.1109/AICT59525.2023.10313201>
- [5] P. J. Gandam, I. Muralikrishna, “Cryptography in the Healthcare Sector With Modernized Cyber Security”, In book: Quantum Cryptography and the Future of Cyber Security, 2020, 10.4018/978-1-7998-2253-0.ch008
- [6] A. J.Menezes, P. C.van Oorschot, S. A. Vanstone, “Handbook of applied cryptography”, CRC Press, 1996, 794 p.
- [7] A. M. H. Kuo, “Opportunities and challenges of cloud computing to improve health care services”, Journal of Medical Internet Research, 2011, 13(3), e67.
- [8] A.M. Mustafa, “Protection Issues of Personal Data in the Cyber Physical Social System”, The 2nd International Scientific and Technical Conference on Infocommunication Systems and Artificial Intelligence Technologies, 2024, 4-5 December.
- [9] A.Mustafa, “Analysis of Cyber Threats to Personal Data in Socially Oriented Cyber-Physical Systems”, Azerbaijan's Security Agencies: Historical Development and Modernity, Proceedings of the Republic Scientific Conference. 2024, pp.245-255. (Translated from Azerbaijani)
- [10] Health Data in the Information Age: Use, Dis-closure, and Privacy. National Academy Press, Washington, DC, 1994.
- [11] Ponemon Institute. "Healthcare Data Breach Report 2023". <https://www.ponemon.org>
- [12] J.Sun, R.Zhang, Z.Xiong, G.Zhu, “Data security and privacy in cloud computing for health care”. IEEE Access, vol. 6, pp. 19019–19030, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2810191>
- [13] W. Stallings, “Cryptography and network security: Principles and practice”, (7th ed.). Pearson Education. 2017, 770 p.
- [14] Evgeny Milanov, “The RSA Algorithm”, RSA laboratories, 2009, 1(11).
- [15] E. Mansoor, K. Shujaat, B.K. Umer, “Symmetric Algorithm Survey: A Comparative Analysis”, Cryptography and Security, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0398>

Süni İntellektin Səhiyyə Sahəsində Tətbiqi

Kəmalə Kərimova¹, Əminə Aslanova², İsmayıl Qafarov³, Xəyalə Məmmədova⁴

Azərbaycan Tibb Universiteti Tibbi və Bioloji Fizika kafedrası, Bakı, Azərbaycan

¹kamala.karimova@inbox.ru, ²emine.aslanova83@gmail.com, ³dr.gafarov@hotmail.com, ⁴xayale81@yahoo.com

Xülasə — Süni intellektin (Sİ) səhiyyə sahəsində tətbiqi diaqnostikanın dəqiqliyini artırmaq, müalicə proseslərini optimallaşdırmaq və resursların səmərəli istifadəsini təmin etmək baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sİ texnologiyaları xəstəliklərin erkən aşkarlanması və fərdiləşdirilmiş müalicə strategiyalarının hazırlanmasında həkimlərə dəstək olur. Xüsusilə məhdud resurslara malik səhiyyə sistemlərində bu texnologiyalar xidmət keyfiyyətini yüksəltməyə imkan verir. Bununla yanaşı, Sİ-nin tətbiqi etik və hüquqi məsələləri, o cümlədən pasiyent məlumatlarının qorunması və insan amilinin əvəzlənməsi ilə bağlı müzakirələrə gündəmə gətirir. Bu baxımdan, texnologiyanın effektiv tətbiqi üçün hüquqi çərçivələr və peşəkar təlim proqramlarının hazırlanması zəruridir.

Açar sözlər — səhiyyə, süni intellekt, xəstəliklərin proqnozlaşdırılması, tibbi metodlar.

I. GİRİŞ

Süni intellekt (Sİ) sadə dillə desək, insanın öyrənmə və problemləri həll etmə kimi idrak funksiyalarını təqlid edən ağıllı maşınların yaradılması üçün istifadə olunan elmi və mühəndislik sahəsidir. Bu, maşının müəyyən alqoritmlər və ya qaydalar toplusuna əsasən işləməsi ilə mümkün olur [1]. Sİ sistemləri problemləri qabaqcadan görmək və ya onlar meydana çıxdıqda həll etmək qabiliyyətinə malikdir, yəni məqsədli, ağıllı və uyğunlaşa bilən şəkildə fəaliyyət göstərə bilər [2].

Süni intellektin gücü böyük, çoxölçülü və çoxformatlı verilənlər toplusu əsasında nümunələri və əlaqələri öyrənmək və tanımaq qabiliyyətindədir; məsələn, Sİ sistemləri bir xəstənin bütün tibbi qeydlərini analiz edərək, ehtimal olunan diaqnozu təmsil edən tək bir rəqəmə çevirə bilər [3, 4]. Bundan əlavə, Sİ sistemləri dinamik və avtonom xarakter daşıyır – yəni, daha çox məlumat əldə edikcə öyrənir və uyğunlaşır [5].

Qeyd etmək lazımdır ki, süni intellekt vahid və universal texnologiya deyil, əksinə, müxtəlif alt sahələri (məsələn, maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə) əhatə edir. Bu sahələr ayrı-ayrılıqda və ya birlikdə tətbiqlərə intellektual imkanlar əlavə edə bilər.

Maşın öyrənməsi (MÖ) – kompüter proqramlarının təcrübə əsasında avtomatik olaraq inkişaf etməsini təmin edən alqoritmlərin öyrənilməsi sahəsidir. MÖ-nin əsas kateqoriyaları bunlardır:

Nəzarətli öyrənmə (supervised learning): Etiketlənmiş məlumatlardan (yəni annotasiyalı məlumatlardan) istifadə olunur; məsələn, məlum şişlərin olduğu rentgen şəkillərindən istifadə edərək, yeni şəkillərdə şişin aşkarlanması.

Nəzarətsiz öyrənmə (unsupervised learning): Etiketsiz məlumatdan informasiya çıxarmağa çalışır; məsələn, oxşar simptomlara malik xəstə qruplarını ümumi səbəbə görə qruplaşdırmaq.

Mükafatlandırıcı öyrənmə (ing.reinforcement learning – RL): Burada alqoritm sınaq-yanılma üsulu ilə və ya ekspertin nümunə göstərməsi ilə öyrənir. Əsas məqsəd mükafatları maksimuma çatdıran strategiya formalaşdırmaqdır. Qeyd etmək lazımdır ki, son illərdə Sİ sahəsindəki əsas irəliləyişlər məhz bu metodla əldə olunub.

Dərin öyrənmə (ing. deep learning – DL) isə çoxsaylı, bir-birinə bağlı təbəqələrdən ibarət olan alqoritmlər sinifidir. Bu metod böyük miqdarda nümunələr üzərində təlim görməklə öyrənir. DL bu gün Sİ-nin əsas metodlarından birinə çevrilib və görüntü, nitq tanınması kimi sahələrdə böyük nailiyyətlər əldə olunmasına səbəb olub.

Sİ texnologiyalarının səhiyyə sahəsində tətbiqi son illərdə sürətlə inkişaf etmişdir. Bu texnologiyalar, həm həkimlərin, həm də digər səhiyyə mütəxəssislərinin işini asanlaşdırmaqla yanaşı, səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini artırmağa və xəstələrə daha effektiv və müasir müalicə yanaşmalarını təqdim etməyə imkan verir. Müxtəlif sahələrdə süni intellektin tətbiqi, sağlamlıq sahəsindəki ən böyük problemləri həll etmək üçün yeni imkanlar yaradır. Bu texnologiyaların istifadəsi, müalicə və diaqnostika proseslərini yalnız daha sürətli etmək deyil, eyni zamanda onları daha dəqiq və fərdiləşdirilmiş şəkildə həyata keçirməyə şərait yaradır.

Bütün dünyada, xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələrdə səhiyyə sistemlərinin effektivliyini artırmağa yönələn ehtiyaclar artmaqdadır. Bu ölkələrdə səhiyyə xidmətlərinin çatışmazlıqları, yüksək xəstəlik nisbətləri və məhdud resurslar, süni intellektin tətbiqinin vacibliyini daha da artırır. Belə ölkələrdə səhiyyə sistemlərinin optimallaşdırılması, həm xəstəliklərin daha erkən aşkar edilməsi, həm də müalicə metodlarının daha sərfəli və effektiv şəkildə tətbiq edilməsi üçün süni intellekt mühüm bir vasitədir. Süni intellektin tətbiqi, müxtəlif səhiyyə sahələrində daha sürətli xidmət göstərmək, səhiyyə işçilərinin iş yükünü azaltmaq və səhiyyə xərclərini optimallaşdırmaq üçün yeni yollar açır.

Bundan əlavə, səhiyyə xidmətlərinin təşkil olunmasında səmərəliliyin artırılması, resursların düzgün və effektiv paylanması kimi məsələlər də süni intellektin tətbiqini mühüm edir. Məsələn, xəstə qəbulunun sürətləndirilməsi üçün Sİ və xəstəliklərin proqnozlaşdırılması üçün süni intellektdən istifadə edilə bilər. Süni intellekt, mövcud səhiyyə məlumatlarını təhlil edərək xəstələrin ehtiyaclarına daha uyğun xidmətlər təqdim etməyə imkan yaradır. Xəstə qəbulunda və müalicə planlarının tərtibində süni intellektin rolu, səhiyyə işçilərinin səhv qərar

vermə ehtimalını azaldır və resursların daha düzgün istifadə olunmasını təmin edir.

Bu texnologiya həmçinin xəstəliklərin erkən aşkar edilməsində çox böyük imkanlar təqdim edir. Süni intellekt alqoritmləri, müxtəlif tibbi testlər və şəkilləri (rentgen, MRT, ultrasəs və s.) təhlil edərək, həkimlərə xəstəlikləri daha erkən mərhələlərdə aşkarlamaq və müalicə etmək imkanı verir. Bu yanaşma, xüsusilə onkoloji xəstəliklər, ürək-damar xəstəlikləri və digər həyat üçün təhlükəli xəstəliklərin təhlilində böyük əhəmiyyət kəsb edir. Xəstəliklərin erkən mərhələlərdə aşkarlanması, müalicə prosesini daha səmərəli və uğurlu edir, xəstələrin həyatını xilas etmək və müalicə xərclərini azaltmaq baxımından vacibdir.

Son olaraq, səhiyyə təşkilatlarında süni intellektin tətbiqi ilə əlaqədar resursların daha səmərəli istifadəsi məsələsi də gündəmə gəlir. Yüksək keyfiyyətli səhiyyə xidmətləri təqdim etmək üçün müvafiq resursların düzgün bölüşdürülməsi və xəstə qəbulunun, müalicə proseslərinin optimallaşdırılması tələb olunur. Süni intellekt, bu məsələlərin həllinə kömək edir, çünki məlumatları təhlil edərək səhiyyə xidmətlərinin ən optimal şəkildə təşkil edilməsinə imkan yaradır. Bu isə, sağlamlıq sistemlərinin ümumi effektivliyini artırır və xidmətlərin daha əlçatan olmasını təmin edir.

II. MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Süni intellektin səhiyyə sahəsində geniş tətbiqi ilə bağlı bir sıra məsələlər ortaya çıxır. Ən əsas məsələlərdən biri, süni intellektin səhiyyə sistemindəki təsirinin həkimlərin və digər səhiyyə işçilərinin peşəkar fəaliyyətinə necə təsir edəcəyidir. Süni intellektin müalicə və diaqnostika proseslərində istifadəsi ilə bağlı suallar yaranır: bu texnologiyalar həkimlərin işini necə asanlaşdıracaq, yoxsa insan faktorunun yerini ala bilərmə? Bundan əlavə, xəstə məlumatlarının qorunması və bu texnologiyanın etik tərəfləri ilə bağlı narahatlıqlar da mövcuddur. Məsələnin qoyuluşu, süni intellektin səhiyyə sahəsində tətbiqinin praktiki və etik məsələlərini əhatə edir.

III. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ YOLLARI

Süni intellektin səhiyyə sahəsində tətbiqi məsələsinin həlli üçün bir neçə əsas istiqamət mövcuddur.

Bunlardan biri təhsil və təlimdir. Həkimlərin və səhiyyə mütəxəssislərinin süni intellekt texnologiyaları ilə işləmək üçün xüsusi təlimlərə ehtiyacı vardır. Həkimlər bu texnologiyalardan istifadə edərək, daha sürətli və dəqiq müalicə qərarları qəbul edə biləcəklər.

Digər bir məsələ isə texnologiyaların inkişafıdır. Süni intellektin səhiyyə sahəsində daha effektiv tətbiqi üçün müvafiq alqoritmlərin inkişafı vacibdir. Machine learning (ML) və deep learning (DL) metodlarının tibb sahəsinə uyğunlaşdırılması, xəstəliklərin erkən aşkar edilməsi və müalicənin optimallaşdırılması üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Etik və hüquqi məsələlərin həlli də bu proseslərdə mühüm rol oynayır. Xəstə məlumatlarının qorunması və süni intellektin səhiyyə sahəsində istifadəsi ilə bağlı etik məsələlər nəzərə

alınmalıdır. Xəstə məlumatlarının qorunması üçün müvafiq qanunlar və tənzimləyici mexanizmlər yaradılmalıdır.

Digər bir vacib məsələ səhiyyə təşkilatlarında idarəetmədir. Səhiyyə təşkilatlarının resursları düzgün şəkildə idarə etmək üçün süni intellektin tətbiqi genişləndirilməlidir. Xəstə qəbulunun optimallaşdırılması, müalicə planlarının hazırlanması və əməliyyatların səmərəli şəkildə həyata keçirilməsi üçün süni intellekt alqoritmlərindən istifadə edilməlidir.

Sİ səhiyyə sistemlərinin “dördlü məqsədi”nə çatmasına imkan yarada bilər – bu isə bağlı və Sİ ilə gücləndirilmiş qulluq, dəqiq diaqnostika, dəqiq terapiya və nəhayət, dəqiq tibb sahəsində demokratikləşmiş və standartlaşdırılmış bir gələcəyin qurulması deməkdir.

Səhiyyədə süni intellektin tətbiqi üzrə aparılan tədqiqatlar sürətlə inkişaf etməkdədir və onun fiziki və psixi sağlamlıq sahələri də daxil olmaqla, səhiyyə sektorunun müxtəlif istiqamətlərində tətbiq potensialı nümayiş etdirilməkdədir. Bu sahələrə dərman kəşfi, virtual klinik konsultasiyalar, xəstəliklərin diaqnostikası və proqnozu, dərman istifadəsinin idarə olunması və sağlamlıq monitorinqi daxildir.

Biz süni intellektin səhiyyədə yaxın, orta və uzaq perspektivlərdə tətbiqinə dair qeyri-əhəmiyyətli (tam olmayan) bir sıra nümunələri təqdim edirik. Bu nümunələr Sİ-nin tibbi sahədə necə gücləndirici, avtomatlaşdırıcı və transformativ rol oynaya biləcəyini göstərir.

Bugünkü və yaxın gələcəkdə Sİ. Hazırda mövcud olan Sİ sistemləri hələlik insan həkimləri kimi düşünə bilən məntiqi sistemlər deyildir; onlar "ümumi düşüncə", "kliniki intuisiya" və ya "təcrübə" kimi xüsusiyyətlərə malik deyillər. Əvəzində, süni intellekt signal tərcüməçisi kimi fəaliyyət göstərir – məlumat dəstlərindən nümunələri müəyyən edib tərcümə edir.

Hazırkı mərhələdə, səhiyyə müəssisələri tərəfindən yüksək həcmli, təkrarlanan və vaxt aparan işlərin avtomatlaşdırılması üçün Sİ sistemləri tətbiq edilməyə başlanmışdır. Eyni zamanda, Sİ-nin dəqiq diaqnostika sahəsində istifadəsi (məsələn, diabetik retinopatiya və radioterapiya planlaşdırılması kimi hallarda) üzrə ciddi irəliləyişlər müşahidə olunur.

Orta müddətli perspektivdə Sİ (növbəti 5–10 il). Orta müddətli dövrdə, daha güclü alqoritmlərin hazırlanmasında mühüm nailiyyətlər gözlənilir. Bu alqoritmlər daha az məlumatla öyrənə biləcək, etiketlenməmiş məlumatlardan istifadə edə biləcək və müxtəlif quruluşlu və qeyri-quruluşlu məlumatları – o cümlədən görüntülər, elektron sağlamlıq qeydləri, multi-omik, davranış və farmakoloji məlumatları – birləşdirə biləcək qabiliyyətdə olacaqlar.

Bundan əlavə, səhiyyə müəssisələri və tibb praktikasında çalışanlar artıq mövcud Sİ platformalarının sadəcə istifadəçisi deyil, texnoloji tərəfdaşlarla birlikdə yeni Sİ sistemlərinin həmmüəllifi və birgə innovasiya tərəfdaşına çevriləcəklər. Bu, dəqiq terapiyaların hazırlanmasında mühüm rol oynayacaq.

Uzun müddətli perspektivdə Sİ (>10 il). Uzunmüddətli dövrdə, süni intellekt sistemləri daha da intellektual olacaq və səhiyyə sahəsində Sİ ilə gücləndirilmiş və bir-birinə bağlı

xidmətlər sayəsində dəqiq tibb mərhələsinə keçid baş verəcəkdir.

Bu zaman səhiyyə ənənəvi “hamı üçün eyni” yanaşmasından uzaqlaşaraq, fərdiləşdirilmiş, qabaqlayıcı və məlumat əsaslı xəstəliklərin idarə olunması modelinə keçəcəkdir. Bu model, xəstələr və həkimlər üçün daha yüksək məmnuniyyət və daha yaxşı klinik nəticələrlə yanaşı, səhiyyə xidmətlərinin daha səmərəli və iqtisadi cəhətdən əlverişli şəkildə göstərilməsini təmin edəcəkdir.

Virtual köməkçilər və süni intellekt əsaslı çatbotlar. Süni intellekt əsaslı çatbotlar (məsələn, Babylon (www.babylonhealth.com) və Ada (<https://ada.com>) kimi platformalarda istifadə olunanlar) pasiyentlər tərəfindən simptomların müəyyənəşdirilməsi və ilkin tibbi yardım və icma səviyyəsində atılacaq növbəti addımların tövsiyə olunması məqsədilə istifadə olunur. Bu cür çatbotlar ağıllı saatlar kimi geyilə bilən qurğularla inteqrasiya edilə bilər və bu, həm pasiyentlərə, həm də tibbi xidmət göstərən şəxslərə davranışların tənzimlənməsi, yuxu rejiminin yaxşılaşdırılması və ümumi sağlamlıq vəziyyətinin yüksəldilməsi sahəsində faydalı məlumatlar təqdim edir.

İntellektual tibbi qulluq. Son dövrlərdə hər hansı əlavə qurğuya ehtiyac olmadan mühitə uyğun sensor əsaslı müşahidə texnologiyalarının inkişafı müşahidə olunur.

Emerald (www.emeraldinno.com) – Massachusetts Texnologiya İnstitutunun əməkdaşları və tədqiqatçıları tərəfindən yaradılmış, toxunmasız və simsiz işləyən sensorlar və maşın öyrənməsi platformasına əsaslanan sistemdir. Bu texnologiya uzaqdan yuxunun, tənəffüsün və davranışların monitorinqini həyata keçirməyə imkan verir.

Google Nest – hərəkət və səs sensorlarından istifadə etməklə yuxu vəziyyətini (o cümlədən öskürək kimi yuxu pozuntularını) müşahidə etdiyini iddia edir.

Yaxınlarda dərc olunmuş bir məqalədə ağıllı səsgücləndiricilərdən istifadə etməklə ürək ritmlərinin toxunmasız şəkildə izlənilməsi imkanları araşdırılmışdır.

Avtomatlaşdırma və ambient klinik intellekt – təbii dilin işlənməsi (Natural Language Processing – NLP) texnologiyasına əsaslanan süni intellekt sistemləri, pasiyentlərin həkim qəbulu zamanı əldə olunan məlumatların elektron sağlamlıq qeydlərinə avtomatik daxil edilməsi, klinik iş axınının optimallaşdırılması və tibb işçilərinin pasiyentlərə daha çox vaxt ayırmasına şərait yaratmaq məqsədilə inzibati vəzifələrin yerinə yetirilməsini avtomatlaşdırmaq potensialına malikdir (məsələn, Nuance Dragon Ambient eXperience – www.nuance.com/healthcare/ambientclinicalintelligence.html).

Dəqiq diaqnostika. Diaqnostik görüntüləmə

Tibbi görüntülərin avtomatlaşdırılmış şəkildə təsnifləndirilməsi bu gün süni intellektin ən aparıcı tətbiq sahələrindən biridir. 2015–2020-ci illər ərzində ABŞ və Avropada təsdiq edilmiş süni intellekt/maşın öyrənməsi (Sİ/MÖ) əsaslı tibbi cihazların təhlili göstərmişdir ki, bu cihazların yarısından çoxu – ABŞ-da 129 (58%) və Avropada 126 (53%) cihaz – radiologiya sahəsində istifadə üçün təsdiq edilmiş və ya CE sertifikatı almışdır.

Tədqiqatlar süni intellektin tibbi görüntülərə əsaslanan diaqnostika sahəsində bir çox ixtisas üzrə insan mütəxəssislərlə bərabər və ya daha yüksək dəqiqliklə nəticələr verdiyini nümayiş etdirmişdir. Bu sahələrə aşağıdakılar daxildir:

Radiologiya: Ön tərəfdən çəkilmiş döş qəfəsi rentgen görüntüləri ilə təlimləndirilmiş konvolyusion neyron şəbəkəsi, sələmənin aşkarlanmasında radioloqları üstələyib.

Dermatologiya: Klinik görüntülərlə təlim etdirilmiş konvolyusion neyron şəbəkəsi, dəri zədələrinin düzgün təsnifatını təmin etmişdir.

Patologiya: Bütün slayd patologiya görüntüləri ilə təlimləndirilmiş süni intellekt alqoritmləri, süd vəzi xərçənginin limfa düyünlərinə metastazlarını aşkar etməkdə patoloqlarla müqayisə olunmuş və effektiv nəticələr göstərmişdir.

Kardiologiya: Dərin öyrənməyə əsaslanan alqoritm, infarktin diaqnostikasında kardioloqlarla müqayisə olunacaq səviyyədə performans göstərmişdir.

Böyük Britaniyanın Milli Səhiyyə Xidmətində (NHS) bu sahədə bir sıra nümunəvi təşəbbüslər mövcuddur, məsələn, Lids Universitetinin Virtual Patologiya Layihəsi və Milli Patologiya Görüntüləmə Kooperativi. Orta perspektivdə süni intellektə əsaslanan diaqnostik görüntüləmə texnologiyalarının geniş miqyasda tətbiqi və yayılması gözlənilir.

Süni intellekt əsaslı dərman kəşfi. Süni intellekt (Sİ) klinik tədqiqatların dizaynı və dərman istehsal proseslərinin optimallaşdırılmasında əhəmiyyətli inkişaflara səbəb olacaqdır. Ümumiyyətlə, səhiyyədə kombinasional optimallaşdırma tələb edən istənilən proses süni intellektlə əvəz oluna bilər. Bu sahədə ilk addımlar artıq atılmışdır – DeepMind və AlphaFold tərəfindən verilmiş son açıqlamalar bu istiqamətdə dönüş nöqtəsi olmuşdur. Bu texnologiyalar xəstəlik proseslərinin daha dərinlən anlaşılması, zülal strukturlarının proqnozlaşdırılması və həm nadir, həm də daha geniş yayılmış xəstəliklər üçün hədəfə yönəlmiş terapevtik vasitələrin inkişaf etdirilməsi üçün yeni imkanlar açır.

Dəqiq tibb. Yeni müalicəedici terapiyalar. Son onillikdə süni biologiya sahəsində CRISPR gen redaktəsi və fərdiləşdirilmiş bəzi xərçəng müalicələri kimi mühüm nailiyyətlər əldə olunmuşdur. Lakin belə qabaqcıl terapiyaların inkişafı hələ də olduqca səmərəsiz və baha başa gələn bir proses olaraq qalır.

Gələcəkdə genomik, proteomik, qlikomik, metabolomik və bioinformatik məlumatlara daha geniş çıxışın təmin olunması ilə süni intellekt bizə bioloji sistemlərin mürəkkəbliyini daha dərinlən və sistemli şəkildə anlamağa imkan verəcək və nəticədə biologiyayı anlama, kəşf etmə və ona təsir göstərmə üsullarımızı köklü şəkildə dəyişəcəkdir. Bu yanaşma dərman kəşfi prosesinin səmərəliliyini artıracaqdır.

Hansı terapevtik maddələrin effektiv olma ehtimalının yüksək olduğunu erkən mərhələdə daha düzgün proqnozlaşdırmağa,

Eləcə də, əksər hallarda dərmanların inkişafının son – və ən bahalı – mərhələlərində maneə yaranan mənfi təsirləri əvvəlcədən müəyyən etməyə kömək edəcəkdir.

Nəticə etibarilə, bu yanaşma yeni və qabaqcıl terapiyaların daha aşağı xərc hesabına daha geniş əhali qrupları üçün əlçatan olmasını təmin edəcəkdir.

Süni intellektlə gücləndirilmiş tibb mütəxəssisləri. Uzunmüddətli perspektivdə tibb işçiləri süni intellektdən istifadə etməklə göstərdikləri tibbi yardımın keyfiyyətini yüksəldəcəklər. Bu, onların öz ixtisas səlahiyyətlərinin ən yüksək səviyyəsində daha təhlükəsiz, standartlaşdırılmış və effektiv tibbi yardım göstərmələrinə imkan yaradacaqdır.

Məsələn, klinik həkimlər “süni intellektlə rəqəmsal məsləhət” vasitəsilə pasiyentlərinin “rəqəmsal əkiz” modellərini (pasiyentin rəqəmsal və biotibbi simulyasiya olunmuş modeli) araşdırma bilirlər. Bu isə onlara, məsələn, bir xərcəng dərmanının effektivliyini, təhlükəsizliyini və xəstə tərəfindən qəbul olunma təcrübəsini real müdaxilə həyata keçirilməzdən əvvəl rəqəmsal mühitdə “sınaqdan keçirmək” imkanı verəcəkdir.

IV. ƏLDƏ OLUNMUŞ NƏTİCƏLƏRİN ELMI-PRAKTİK ƏHƏMIYYƏTİ

Süni intellektin səhiyyə sahəsində tətbiqi ilə bağlı əldə olunan nəticələr, bu texnologiyanın sağlamlıq sistemindəki potensialını ortaya qoyur. Təcrübələr göstərir ki, süni intellekt əsaslı sistemlər xəstəliklərin diaqnozunu sürətləndirir, müalicə planlarını fərdiləşdirir və səhiyyə təşkilatlarının əməliyyatlarını optimallaşdırır [7,8]. Məsələn, onkoloji xəstəliklərin erkən mərhələlərdə aşkarlanması, rentgen və MRT kimi tibbi şəkillərin süni intellekt alqoritmləri ilə təhlil edilməsi ilə mümkün olmuşdur. Bənzər yanaşmalar ürək-damar xəstəlikləri və digər xəstəliklərin diaqnostikasında da tətbiq olunmuşdur.

Bu texnologiyanın praktiki əhəmiyyəti böyükdür, çünki o, səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini artırmağa və xəstələrin

müalicə müddətini qısaltmağa kömək edir. Eyni zamanda, səhiyyə təşkilatlarında resursların düzgün paylanması təmin edilir, xəstə qəbulunun və müalicənin daha səmərəli həyata keçirilməsinə imkan yaradır [9]. Süni intellektin tətbiqi, həmçinin tibb işçilərinin iş yükünü azaldır və onların daha çox xəstəyə qulluq etməsinə imkan verir.

İSTINADLAR

- [1] McCarthy J. What is artificial intelligence? John McCarthy, 1998.
- [2] Shukla SS, Jaiswal V. Applicability of artificial intelligence in different fields of life. IJSE 2013;1:28–35.
- [3] Deng J, Dong W, Socher R et al. Imagenet: a large-scale hierarchical image database. 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2009:248–55.
- [4] Quinn TP, Senadeera M, Jacobs S, Coghlan S, Le V. Trust and medical AI: the challenges we face and the expertise needed to overcome them. J Am Med Inform Assoc 2021;28:890–4.
- [5] Binns R, Gallo V. Trade-offs. Information Commissioner's Office, 2019. <https://ico.org.uk/about-the-ico/news-and-events/ai-blogtrade-offs>
- [6] Junaid Bajwa, Usman Munir, Aditya Nori, Bryan Williams, Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. Future Healthcare Journal 2021 Vol 8, No 2: e188–94
- [7] Topol, E. J. (2019). Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. Basic Books.
- [8] Zhang, H., & Qie, Y. (2023), Applying Deep Learning to Medical Imaging: A Review, Applied Sciences, 13(18), 10521, DOI: 10.3390/app131810521
- [9] Qingling Xia, Hong Zheng, Haonan Zou, Dinghao Luo, Hongan Tang, Lingxiao Li, Bin Jiang (2025), A comprehensive review of deep learning for medical image segmentation, Neurocomputing, volume 613, , 128740, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128740>

Scopus və Web of Science Bazalarının Məlumatları Əsasında Tibb Elmlərinin Bibliometrik Analizi

Nərmin Adıgözəlova

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

narmin66@gmail.com

Xülasə— Son illər beynəlxalq elmi bazalar və onların göstəricilərindən istifadə edərək elmmetrik tədqiqatların aparılmasına böyük əhəmiyyət verilir. Tədqiqat işinin məqsədi Scopus bazasının məlumatlarından istifadə etməklə səhiyyə və tibb elm sahəsinin qiymətləndirilməsidir. Bu məqsədlə işdə səhiyyə və tibb elmləri sahəsi üzrə Scopus elmi bazasına daxil olan məqalələr və istinadlar analiz edilmiş, o cümlədən bütün elm sahələri ayrılıqda təhlil edilmiş və tibb elmlərinin digər elm sahələri ilə müqayisəsi verilmişdir. Bununla yanaşı səhiyyə elmləri sahəsində Web of Science və Scopus bazasında indeksləşən jurnallar analiz edilmiş, TOP 20-yə daxil olan tibb elmləri sahəsindəki jurnallar araşdırılmışdır.

Açar sözlər— *elmmetrik göstəricilər, istinad, məqalə sayı, İmpakt Faktor, Cite Score, elm sahələrinin bibliometrik analizi*

I. GİRİŞ

Bildiyimiz kimi, tədqiqat sahələrinin inkişaf perspektivinin müəyyənəşdirilməsi elmi siyasətin formalaşdırılması, prioritet istiqamətlərin seçilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir [1]. Müasir elmi mühitdə global rəqabətin artması və elmə ayrılan maliyyə vəsaitlərinin daha effektiv şəkildə paylanması zərurəti bu məsələnin aktuallığını daha da artırır [2].

Bu səbəbdən müxtəlif elmmetrik göstəricilərdən (məsələn, nəşrlərin və istinadların sayı, h-indeksi, İmpakt Faktor, SJR və s.) istifadə edərək tədqiqat sahələrinin hazırkı vəziyyəti və inkişaf dinamikası təhlil etmək mümkündür. Bu göstəricilər vasitəsilə inkişaf edən və ya aktual olmayan elm sahələrini asanlıqla müəyyən etmək mümkündür [3, 4].

Son illər aparılan bibliometrik və elmmetrik təhlillər göstərir ki, yalnız nəticələrin say göstəriciləri ilə kifayətlənmək bəs etmir, həm də onların keyfiyyəti də nəzərə alınmalıdır [5, 6]. Bu səbəbdən elmmetrik göstəricilərin kompleks şəkildə təhlili elmi inkişaf tendensiyaalarını daha obyektiv qiymətləndirməyə imkan verir və gələcəkdə hansı sahələrin daha çox inkişafını müəyyən etməyə kömək edəcəkdir [7, 8]. Məqalədə elm sahələrinin təsnifatına baxılır, səhiyyə və tibb elmlərinin digər elm sahələri ilə müqayisəli analizi verilir. Bu müqayisəli analizin aparılması üçün Scopus və Web of Science bazalarının verilənlərindən istifadə olunur.

II. ELM SAHƏLƏRİNİN TƏSNİFATI

Son zamanlar tədqiqat sahələrinin qiymətləndirilməsi və inkişaf dinamikasının təhlili üçün Scopus və Web of Science kimi nüfuzlu beynəlxalq elmi bazalarının imkanlarından geniş şəkildə istifadə olunur. Bu bazalar müasir elmi fəaliyyətin

təhlilində dəqiqlik təqdim etməklə, tədqiqatların sistemli şəkildə qiymətləndirilməsinə şərait yaradır.

Bu bazalara daxil olan elmi məqalələr, jurnallar və onlara edilən istinadlar konkret elm sahələri üzrə təsnifləşdirilmiş və kateqoriyalasdırılmışdır. Burada "**elm sahəsi**" (**subject area**) dedikdə bir-biri ilə bağlı olan tədqiqat istiqamətlərinin ümumiləşdirilmiş elmi kateqoriyalar üzrə qruplaşdırılması başa düşülür. Bu təsnifat sistemi, araşdırmaların aid olduğu fənn sahələrinin müəyyənəşdirilməsində və bibliometrik təhlillərin aparılmasında mühüm rol oynayır.

Scopus və Web of Science platformalarında elmi fəaliyyət sahələri aşağıdakı 4 əsas kateqoriyaya bölünür:

- *Health Sciences (Səhiyyə və tibb elmləri).* Tibb, əczaçılıq, baytarlıq, stomatologiya və digər səhiyyə ixtisaslarını əhatə edir.
- *Life Sciences (Təbiət elmləri).* Biologiya, genetika, biotexnologiya, ekologiya və digər canlı orqanizmlərlə bağlı tədqiqat sahələrini əhatə edir.
- *Physical Sciences (Fizika elmləri).* Fizika, kimya, riyaziyyat, mühəndislik, kompüter elmləri, materialşünaslıq, energetika və texnoloji tədqiqatları əhatə edir.
- *Social Sciences (Sosial elmlər).* Sosiologiya, psixologiya, iqtisadiyyat, hüquq, təhsil, politologiya və insan davranışına dair digər fənləri əhatə edir.

Bu kateqoriyalar elmi fəaliyyətin global səviyyədə izlənməsi, müqayisə edilməsi və qiymətləndirilməsi üçün ümumi mənzərəni təqdim edir. Hər bir sahə öz daxilində daha spesifik alt kateqoriyalara bölünə bilər ki, bu da tədqiqatların istiqamətlərinin daha dəqiq təhlilinə imkan verir. Məsələn, səhiyyə və tibb elmləri sahəsinin alt kateqoriyalarına tibb, əczaçılıq, baytarlıq, stomatologiya və digər alt kateqoriyalar daxildir.

III. SCOPUS VƏ WEB OF SCIENCE BEYNƏLXALQ ELMI BAZALARI HAQQINDA

Müasir dövrdə elmi fəaliyyətin qiymətləndirilməsi, tədqiqatların təsir gücünün müəyyənəşdirilməsi və elm siyasətinin formalaşdırılması məqsədilə beynəlxalq elmi bazaların rolu əvəzsizdir. Bu baxımdan, Scopus və Web of Science (WoS) bazaları dünyada ən çox istifadə edilən və nüfuzlu elmi indeksləşdirmə sistemləri kimi çıxış edir. Onlar

elmi nəşrlərin bibliometrik təhlili və qiymətləndirilməsində etibarlı mənbə kimi qəbul olunur [9].

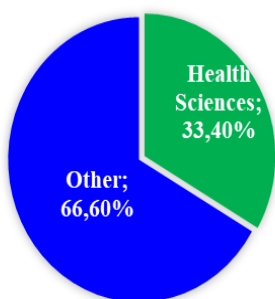
Scopus beynəlxalq elmi bazası 2004-cü ildə təsis edilərək, 4 sahə və 27 fənn istiqaməti üzrə bölməni özündə əks etdirən bazadır və Elsevier platformasına daxildir. Onun əhatə dairəsi 27.000+ elmi jurnal, 240 ölkədən, 7.000+ nəşriyyatdan ibarətdir. Burada məqalələr, konfrans materialları, kitablar, kitab bölmələri kimi sənədlər öz əksini tapır. Scopus bazasının əsas göstəriciləri CiteScore, SJR (SCImago Journal Rank) və SNIP (Source Normalized Impact per Paper)-dir [10].

Web of Science bazası 1960-cı illərdə ilk olaraq Institute for Scientific Information – ISI tərəfindən yaradılmışdır. Əhatə dairəsi 21.000+ jurnaldan (SCI, SSCI, AHCI, ESCI və s.) ibarətdir. Burada məqalələr, konfrans materialları, kitablar, patentlər və s. kimi sənədlər öz əksini tapır. Web of Science bazasının əsas göstəriciləri Impact Factor (IF), h-index, Journal Citation Indicator (JCI), Eigenfactor Score-dur [11].

Tədqiqat işində hər iki bazanın məlumatlarından istifadə etməklə elm sahələrinin təsnifatına baxılmışdır. 1996-2024-cü illəri əhatə edən məlumatlar əsasında səhiyyə və tibb elmləri sahəsinin digər elm sahələri ilə müqayisəsinin aparılması nəzərdə tutulmuşdur. O cümlədən, sağlamlıq elmləri sahəsindən nəşr olunan jurnalların IF və CiteScore göstəricilərindən istifadə olunaraq təhlillər aparılır.

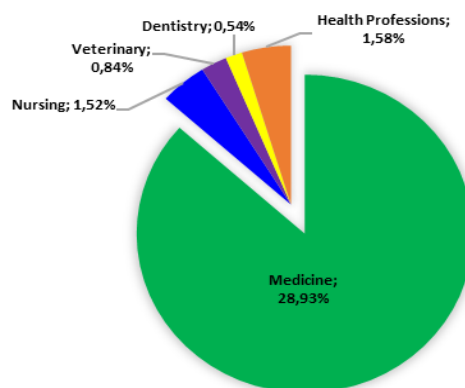
IV. TİBB ELMLƏRİ SAHƏSİNİN DİGƏR ELM SAHƏLƏRİ İLƏ MÜQAYISƏLİ ANALIZI

Qeyd etdiyimiz kimi, Scopus bazasında axtarış etdikdə nəticələr 4 elm sahəsi üzrə - Health Sciences, Life Sciences, Physical Sciences və Social Sciences qruplaşdırılır. İlk öncə Scopus bazasında 1996–2024-cü illər ərzində elmi əsərlərin sahələr üzrə paylanmasına nəzər salaq. Şəkil 1-də təqdim olunan məlumatlardan görünür ki, bu müddət ərzində çap olunmuş məqalələrin 33,40%-i səhiyyə və tibb elmləri sahəsinə aiddir. Bu, səhiyyə və tibb elmləri sahəsində aparılan elmi tədqiqat və nəşrlərin Scopus bazasında böyük paya malik olduğunu göstərir. Bu sahəyə olan maraq, həmçinin tibb elminin cəmiyyətin həyatında mühüm rol oynadığında öz əksini tapır. Digər tərəfdən, Life Sciences, Physical Sciences və Social Sciences kimi sahələrə aid olan məqalələrin ümumi sayı 66,60%-ni təşkil edir.



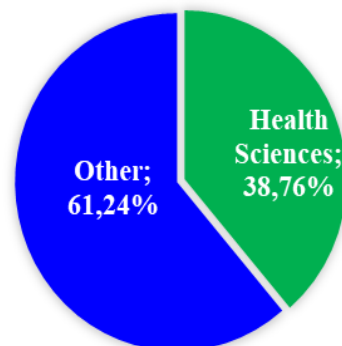
Şəkil 1. 1996-2024-cü illər ərzində nəşrlərin sahələr üzrə paylanması.

Health Sciences üzrə çap olunmuş 33,40% məqalələrin alt kateqoriyalar üzrə paylanması Şəkil 2-də göstərilmişdir. Buradan göründüyü kimi, tibb (medicine) alt kateqoriyası üzrə nəşr olunan məqalələr əczaçılıq, stomatologiya və s. alt kateqoriyalarına nəzərən üstünlük təşkil edir.



Şəkil 2. Health Sciences elm sahəsi üzrə nəşrlərin paylanması.

1996-2024-cü illər ərzində əsərlərin istinadlarına nəzər saldıqda alınmış istinadların 38.76%-nin səhiyyə və tibb elmləri sahəsinin payına düşdüyünü qeyd etmək mümkündür. Bu isə səhiyyə və tibb elmləri sahəsi üzrə alınmış istinadların ayrı-ayrılıqda digər elm sahələrinin istinadlarından daha çox olduğunu göstərir Şəkil 3.



Şəkil 3. 1996-2024-cü illərdə istinadların sahələr üzrə paylanması.

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, tədqiqat işində sahələr üzrə hər iki bazaya daxil olan jurnallar və onların göstəriciləri analiz edilmişdir. Web of Science və Scopus bazalarına TOP 20-yə daxil olan jurnallar seçilmiş müvafiq olaraq Cədvəl 1 və Cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi 2023-cü ildə Web of Science bazasında ən yüksək nüfuza malik TOP 20 jurnaldan 12-si bilavasitə səhiyyə və tibb elmləri sahəsinə aid olmuşdur. Bu fakt tibb elmləri sahəsində yayımlanan elmi əsərlərin elmi ictimaiyyət tərəfindən böyük maraqla qarşılandığını göstərir.

Əlavə olaraq qeyd etmək lazımdır ki, səhiyyə və tibb elmlərinə aid jurnalların İmpakt Faktor (IF) göstəriciləri digər elm sahələrinə aid olan jurnalların göstəriciləri ilə müqayisədə dəfələrlə yüksəkdir. Məsələn, "Nature Reviews Drug Discovery" jurnalının IF göstəricisi 503,1 təşkil etdiyi halda, "Nature Reviews Clinical Oncology" jurnalının IF göstəricisi 81,3, dünya elminin ən nüfuzlu jurnallarından biri olan "Nature" jurnalının isə 51,4-dir. Bu rəqəmlər səhiyyə və tibb elmləri sahəsində aparılan tədqiqatların və nəşr olunan elmi məqalələrin yüksək istinada malik olduğunu göstərir.

CƏDVƏL 1. WEB OF SCIENCE BAZASINA DAXİL OLAN İLK 20 JURNALIIN SIYAHISI

N-si	Jurnalın adı	Daxil olduğu sahə	İmpakt Faktor
1.	Nature Reviews Drug Discovery	Oncology	503.1
2.	Lancet	Pharmacology & Pharmacy	122.7
3.	New England Journal of Medicine	Medicine, General & Internal	98.4
4.	BMJ-British Medical Journal	Medicine, General & Internal	96.2
5.	Nature Reviews Molecular Cell Biology	Medicine, General & Internal	93.6
6.	Nature Reviews Clinical Oncology	Cell Biology	81.3
7.	Nature Reviews Materials	Oncology	81.1
8.	Nature Reviews Disease Primers	Nanoscience & Nanotechnology	79.8
9.	Nature Reviews cancer	Medicine, General & Internal	76.9
10.	Nature Reviews Microbiology	Oncology	72.5
11.	Nature Reviews Immunology	Microbiology	69.2
12.	Foundations and Trends in Machine Learning	Immunology	67.7
13.	Jama-Journal of the American Medical Association	Computer Science, Artificial Intelligence	65.3
14.	World Psychiatry	Medicine, General & Internal	63.1
15.	Nature Medicine	Psychiatry	60.5
16.	Annals of Oncology	Medicine, Research & Experimental	58.7
17.	Chemical Reviews	Oncology	56.7
18.	Nature	Chemistry, Multidisciplinary	51.4
19.	Nature Reviews Methods Primers	Multidisciplinary Sciences	50.5
20.	Nature Energy	Multidisciplinary Sciences	50.1

Bənzər tendensiyanı Scopus bazasında indeksləşən jurnalların CiteScore göstəricilərində də müşahidə etmək mümkündür. Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, Scopus bazasına daxil olan jurnallar arasında "CA: A Cancer Journal for Clinicians" jurnalının CiteScore göstəricisi 873,2 olmuşdur.

Müqayisə üçün, çox yüksək elmi nüfuza malik olan "Nature Reviews Molecular Cell Biology" jurnalının CiteScore göstəricisi 173,6-dır.

Bu statistik göstəricilər səhiyyə və tibb elmləri sahəsinin nəinki məqalə sayı baxımından, həm də onların elmi təsiri və nüfuzu baxımından digər elm sahələrindən fərqləndiyini sübut edir. Səhiyyə və tbb elmlərində yayımlanan elmi əsərlər geniş auditoriyaya təsir edir və daha yüksək dərəcədə elmi istinad gətirilməsi ilə seçilir. Bu isə bir daha göstərir ki, müasir elmdə səhiyyə və tibb sahələri prioritet istiqamətlərdən biri olaraq qalmaqdadır.

CƏDVƏL 2. SCOPUS BAZASINA DAXİL OLAN İLK 20 JURNALIIN SIYAHISI

N-si	Jurnalın adı	Daxil olduğu sahə	Cite Score
1.	Ca-A Cancer Journal for Clinicians	Oncology	873.2
2.	Nature Reviews Molecular Cell Biology	Molecular Biology	173.6
3.	The Lancet	General Medicine	148.1
4.	New England Journal of Medicine	General Medicine	145.4
5.	Nature Reviews Drug Discovery	Pharmacology	137.4
6.	Nature Reviews Materials	Materials Chemistry	119.4
7.	Nature Reviews Cancer	Cancer Research	111.9
8.	Cell	General Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	110.0
9.	Foundations and Trends in Machine Learning	Software	108.5
10.	Chemical Reviews	General Chemistry	106.0
11.	Nature Medicine	General Medicine	100.9
12.	Nature Reviews Clinical Oncology	Oncology	99.4
13.	Nature Reviews Immunology	Immunology	93.4
14.	Nature		90.0
15.	The Lancet Respiratory Medicine	Pulmonary and Respiratory Medicine	87.1
16.	Chemical Society Reviews	General Chemistry	80.8
17.	IEEE Communications Surveys and Tutorials	Electrical and Electronic Engineering	80.2
18.	Nature Reviews Disease Primers	General Medicine	76.7
19.	Reviews of Modern Physics	General Physics and Astronomy	76.2
20.	Nature Energy	Energy Engineering and Power Technology	75.1

NƏTİCƏ

Tədqiqat işində Web of Science və Scopus elmi bazalarının məlumatlarından istifadə olunmaqla səhiyyə və tibb elmləri sahəsinin digər elm sahələri ilə müqayisəli analizi aparılmışdır. Tədqiqatın məqsədi səhiyyə və tibb elmlərini elmi nəşrlər və istinad göstəricilərinə görə qiymətləndirmək və digər sahələrlə müqayisəli üstünlüklərini müəyyənləşdirməkdir. Bu məqsədlə, 1996–2024-cü illər ərzində Scopus bazasına daxil edilmiş səhiyyə və tibb elmləri sahəsindəki məqalələr və onlara edilən istinadlar statistik cəhətdən təhlil edilmişdir. Aparılan analiz nəticəsinə əsasən bu dövr ərzində səhiyyə və tibb elmləri sahəsindəki nəşrlər və onlara edilən istinadların sayının digər elm sahələri ilə müqayisədə daha yüksək olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

Bundan əlavə, Web of Science və Scopus bazalarında indeksləşən jurnalların göstəriciləri də təhlil edilmişdir. Xüsusilə, bu bazalarda ən yüksək reytingə malik olan TOP 20 jurnalların analizi aparılmış, nəticədə səhiyyə və tibb elmləri sahəsindəki jurnalların burada əhəmiyyətli yer tutduğu müəyyən edilmişdir və bu sahəyə aid jurnalların IF, CiteScore göstəriciləri digər sahələrə aid jurnalların göstəricilərindən bir neçə dəfə yüksək olduğu aşkarlanmışdır.

İSTINADLAR

- [1] Bornmann, L., & Mutz, R. “Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references”, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2015, 66(11), 2215–2222. <https://doi.org/10.1002/asi.23329>
- [2] Science, Technology and Innovation: Global Trends. 2023, UNESCO Publishing.
URL: <https://uis.unesco.org/en/topic/science-technology-and-innovation>
- [3] Moed, H. F. “Citation Analysis in Research Evaluation”, Springer. 2005, ISBN: 978-1402037141
- [4] Garfield, E. “The history and meaning of the journal impact factor”, *JAMA*, 2006, 295(1), 90–93.
- [5] Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. “Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses”, *The FASEB Journal*, 2008, 22(2), 338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- [6] Abdi A., Idris N., Alguliyev R., Aliguliyev R., “Bibliometric Analysis of IP&M Journal (1980–2015)”, *Journal of Scientometric Research*. 2018; 7(1), pp.54-62.
- [7] Aliguliyev R.M., Adıgözəlova N.A. “İnformasiya təhlükəsizliyi üzrə aparılan tədqiqatların bibliometrik analizi (2007-2016-cı illər)”, *İnformasiya təhlükəsizliyinin aktual problemləri III respublika elmi-praktiki seminarı*, 2017, s.56-58.
- [8] Lewison, G., & Paraje, G. “The classification of biomedical journals by research level”. *Scientometrics*, 2004, 60(2), 145–157. <https://doi.org/10.1023/B:SCIE.0000027689.94523.e7>
- [9] <https://www.scopus.com>
- [10] <https://www.scimagojr.com/journalrank.php>
- [11] <https://clarivate.com>

Rəqəmsal Tibbin İnkişafında Vətəndaş Elminin Rolu

Təhmasib Fətəliyev, Nərgiz Verdiyeva

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
depart_5@iit.science.az

Xülasə— Sənaye 4.0 texnologiyalarının geniş tətbiqi elmin müxtəlif sahələrində, o cümlədən e-elmin yeni istiqaməti olaraq müstəqil elm sahəsi kimi formalaşan vətəndaş elminin inkişafında özünü göstərməkdədir. Nəticədə müasir cəmiyyətdə elmi tədqiqatların forması dəyişir və bununla da digər sahələrlə yanaşı rəqəmsal tibbin də inkişafına öz təsirini göstərir. Məqalə bu kontekstdə vətəndaş elminin rolunun tədqiqinə həsr olunmuşdur. Rəqəmsal tibbin inkişafında vətəndaş elmi amili nəzərdən keçirilmiş, xarakterik prinsipləri və layihələrin icrasında vətəndaşların iştirakı xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Mövzu üzrə tədqiq edilmiş materiallar əsasında vətəndaş elminin verdiyi əsas imkanlar və tətbiqi perspektivləri göstərilmişdir.

Açar sözlər— vətəndaş elmi, e-elm, Sənaye 4.0, rəqəmsal tibb, vətəndaş elmi layihələri

I. GİRİŞ

Bu gün cəmiyyətin fəaliyyətinin bütün sahələrini, o cümlədən elmi tədqiqatları əhatə edən informasiya texnologiyaları (İT) inkişafın aparıcı qüvvəsidir. Elektron elmin (e-elm) yeni istiqaməti kimi vətəndaş elminin (VE) meydana gəlməsi də bu inkişafın bir hissəsidir [1].

Uzun müddət mövcud olmasına baxmayaraq VE-nin sürətli inkişafı yalnız son bir neçə onillikdə baş vermişdir. Həmin inkişaf müasir İT-nin ən son nailiyyətləri ilə əlaqədardır. Bu kontekstdə hazırda Sənaye 4.0 konsepsiyası həm peşəkar, h

əm də akademik sahələrdə ən aktual məsələlərdən biri hesab edilir. Sənaye 4.0 alətlərinin üstünlükləri onların VE-də tətbiqini və beləliklə, yeni Citizen Science 4.0 konsepsiyasının yaradılmasını aktuallaşdırır. Bu da Sənaye 4.0-in ənənəvi VE-ə proyeksiyası kimi qəbul edilir [2]. Böyük verilənlər, bulud hesablamaları və süni intellekt (Sİ) kimi informasiya texnologiyalarının inkişafı ilə VE-nin bütün dünyada tətbiq ssenariləri artıq təbiət elmləri üzrə tədqiqatlarla məhdudlaşmır. Səhiyyə sahəsində çoxlu sayda tətbiqi halları ortaya çıxmışdır ki, bu da VE-nin tibb və səhiyyənin rəqəmsal inkişafına yeni təkan verə biləcəyini göstərir.

Ümumi halda, rəqəmsal tibb (RT) – tibbi xidmətlərin əlçatanlığını və keyfiyyətini artırmaq məqsədi ilə müasir texnologiyalarla tibbi birləşdirən multidissiplinar istiqamət kimi nəzərdən keçirilə bilər [3]. VE isə öz növbəsində təkcə peşəkar tədqiqatçıları deyil, həm də müxtəlif hazırlıq səviyyələrinə malik könüllüləri cəlb edən elmi tədqiqat modelidir.

VE müxtəlif təşəbbüslər, o cümlədən tibbi məlumatların toplanması və təhlili, Sİ-ə əsaslanan alqoritmlərin hazırlanması, klinik sınaqlarda iştirak və əhalinin sağlamlıq

savadlılığının artırılması yolu ilə RT-ə fəal şəkildə daxil olmaqdadır.

Məqalənin məqsədi RT formalaşmasında VE-nin rolunu öyrənmək, onun bu sahədə tətbiqi imkanlarını və perspektivlərini müəyyən etməkdir.

II. ƏDƏBİYYATIN TƏHLİLİ

Mövzu üzrə çoxsaylı ədəbiyyatlar problemin aktuallığını göstərir. Onlardan daha çox maraq doğuranları nəzərdən keçirək.

CiteSpace 6.3.R3 verilənlərin vizuallaşdırılması və təhlili üçün istifadə edilən, elm sahələri üzrə elmi biliklərin strukturunu, nümunələrini və dinamikasını aşkar etmək üçün istifadə edilən güclü elmmetrik alətdir (<https://citespace.podia.com>). O, bibliometrik tədqiqatlarda bilik xəritələrinin yaradılması üçün geniş şəkildə tanınmışdır. CiteSpace akademik tədqiqatların təkamülünü aşkar etməklə geniş ədəbiyyatdan dəyərli fikirlərin çıxarılmasını asanlaşdırır. Alət elmi ədəbiyyatda yaranan tendensiyləri və keçid nümunələrini effektiv şəkildə aşkar edir və vizuallaşdırır. Bundan əlavə, onun çox perspektivli təhlili tədqiqat qruplarının identifikasiyası və etiketlenməsi ilə bağlı çoxölçülü anlayışlar təmin edir.

[3] tədqiqat işi qlobal səhiyyədə VE-nin cari vəziyyətini, məqsədlərini və metodologiyalarını qiymətləndirmək məqsədilə bibliometrik analiz üçün CiteSpace alətindən istifadə edir. Web of Science Core Collection-dən 248 məqalənin təhlili göstərir ki, VE ABŞ, Böyük Britaniya, Almaniya, Hollandiya kimi yüksək gəlirli ölkələrdə tətbiq olunur və ictimai səhiyyə, xroniki xəstəliklərin idarə olunması, yoluxucu xəstəliklərə nəzarət və rəqəmsal səhiyyə sahəsində əhəmiyyətli tətbiqlərlə təmin olunur. COVID-19 pandemiyası isə VE-nin səhiyyə nəzarəti və ictimai səhiyyə tədbirlərinə inteqrasiyasını daha da sürətləndirdi. Bunun əksinə olaraq, aşağı və orta gəlirli ölkələrdə VE-nin inkişafı və tətbiqi erkən mərhələdə qalmaqdadır və səhiyyə sektoruna məhdud səviyyədə nüfuz edir. Texnoloji infrastrukturun natamamlığı, zəif siyasi dəstək, məhdud ictimai iştirak və resursların məhdud şəkildə paylanması da daxil olmaqla bir sıra struktur maneələr bu regionlarda VE-nin daha geniş şəkildə mənimsənilməsinə mane olmuşdur. Bu tədqiqat işində belə problemlərin həlli üçün hədəflənmiş strategiyalar təklif edilir. Bu müdaxilələrin qlobal səhiyyə idarəçiliyində VE-nin rolunun genişlənməsinə, nəticədə ictimai səhiyyənin yaxşılaşdırılması üçün atılan addımlara və sosial rifahə töhfə verəcəyi gözlənilir.

[4]-də əsas maraq kəsb edən (1) vətəndaşların sağlamlıq, qayğı və ya rifah üçün texnoloji yeniliklər üzrə davam edən tədqiqatlarda iştirak səviyyələri, (2) istifadə olunan iştirak metodologiyaları və (3) tədqiqatçılar tərəfindən aparılan tədqiqatlar idi. 2016-2020-ci illər arasında nəşrlərin sayının hər il artması səhiyyə, sağlamlıq və ya rifah sahəsində VE-nə artan marağı nümayiş etdirir. Bu icmalda təqdim olunan qeydlər VE-də sağlamlıq üçün istifadə edilən tədqiqat metodlarının müxtəlifliyini təsdiqləyir, ilk növbədə keyfiyyət metodlarından istifadə edir, çox vaxt xüsusi tədqiqat probleminə və tədqiqat qrupuna uyğunlaşdırılır.

Səhiyyə sistemlərinin transformasiyası klinik qərarların qəbulunun qida sistemləri, sosial təminat kimi digər sistemlərlə əlaqələndirilməsini tələb edir [5]. XXI əsrdə insanların hər yerdə internetə qoşulmuş cihazlar vasitəsilə qarşılıqlı əlaqəsi mürəkkəb multidissiplinar problemləri həll etmək üçün istifadə oluna bilən böyük həcmdə məlumat yaradır. Faktiki verilənlərə əsaslanan qərarların qəbul edilməsinin əlaqələndirilməsində mövcud boşluqları həll etmək cəhdi olaraq, vətəndaşlar tərəfindən idarə olunan böyük məlumatların etik istifadəsi üçün DiSCo (*Digital Citizen Science Observatory*) hazırlanır. Bu layihənin faydaları əhalinin sağlamlığına töhfə verməkdən əlavə olaraq sosial və ictimai faydaları, mürəkkəb məsələlərin həlli üçün qərar qəbul edənlərin innovativ yanaşmalarını əhatə edir.

VE-nin RT-də əsas rolu vətəndaşların iştirakı üçün bərabər imkanların təmin edilməsidir. Bu baxımdan, [6]-da müəlliflər rəqəmsal səhiyyə kontekstində VE təcrübəsini araşdıraraq, təşviq edilən əsas prinsiplər və çağırışları təsvir edir. Burada həmçinin məhdudiyyəti olan şəxslər üçün sosial, fiziki və mənəvi rifahın yaxşılaşdırılması istiqamətində rəqəmsal yanaşma vasitəsilə nümunə əsasında bu bərabərliyə nail olmağın yolları göstərilir.

[7] icmalında göstərilir ki, vətəndaş alimlər, xüsusilə ətraf mühitin çirklənməsi, fiziki fəaliyyət və sağlam qidalanma sahələrində bərabərliyi təşviq etmək üçün layihələrə cəlb edilir. Adətən onlar sağlamlıq sahəsində qeyri-bərabərliklə üzləşən icmaların üzvləri olur və havanın, suyun keyfiyyəti sensorları, mobil proqramlar kimi bir sıra texnologiyalardan istifadə edərək məlumat toplayırlar. VE vasitəsilə sağlamlıq bərabərliyi problemini həll etmək üçün bu mövzuya diqqətin artırılması, vətəndaş alimlərin müxtəlifliyinin artırılması, tədqiqatın müxtəlif mərhələlərində onların integrasiyasının genişləndirilməsi vacibdir. Bundan başqa, vətəndaş alimlərə sağlamlıq bərabərliyi üçün müvafiq məlumat toplamaq imkanını verən inkişaf etməkdə olan texnologiyalar və sağlamlıq bərabərliyinə təsirləri qiymətləndirmək üçün metodlar gücləndirilməlidir.

COVID-19 pandemiyası zamanı RT-də VE-nin aktuallığını real zamanda bütün dünyada müşahidə etmək mümkün oldu. Son illər ərzində aparılan elmi tədqiqatlar bunu bir daha sübut edir. Belə ki, pandemiya global miqyasda insanların fiziki və psixi sağlamlığına ciddi ziyan vurmuşdur. ABŞ-da pandemiyanın ilk iki ili ərzində psixoloji narahatlığa səbəb olan amillər tədqiq edilmişdir. [8]. Digər bir elmi mənbədə isə qeyd olunur ki, pandemiya hazırlıq və cavab tədbirlərində rəqəmsal imkanlara malik VE-nin potensialından tam istifadə etmək üçün ölkələr və agentliklər əhali arasında rəqəmsal

savadlılığa, səlahiyyətlərin artırılmasına dəstək, həmçinin texnologiya, internet və mobil məlumatlara əlverişli çıxışı təşviq etməklə bu boşluqları aradan qaldırmalıdır [9].

COVID Symptom Tracker VE layihəsi (<https://111.wales.nhs.uk/selfassessments/symptomcheckers/covid19.aspx>) geniş istifadəçi auditoriyasından COVID-19 simptomları haqqında məlumat toplamaq üçün mobil proqramdır. Pandemiya görə istifadəyə verilən bu layihə Böyük Britaniya və ABŞ-da 4 milyondan çox iştirakçını əhatə edərək, biotibdə VE-nin ən böyük nümunələrindən birinə çevrilmişdir. İstifadəçilər öz səhhəti, test nəticələri, peyvəndlər və sağlamlıqlarının digər aspektləri haqqında gündəlik məlumat təqdim etmişdilər. Toplanmış məlumatlar operativ olaraq yeni simptomları müəyyən etməyə, infeksiyanın yayılmasını proqnozlaşdırmağa, peyvənddən sonra və infeksiyadan sonrakı təsirləri təhlil etməyə imkan vermişdir. Layihənin nəticələri bir sıra elmi nəşrlərin əsasını təşkil etmiş və qlobal böhran şəraitində əhalinin sağlamlığının monitorinqi üçün rəqəmsal kraudsorsinqin vacibliyini nümayiş etdirmişdir. Layihə rəqəmsal epidemiologiya və fərdiləşdirilmiş tibb sahəsində oxşar təşəbbüslərin inkişafı üçün mühüm modelə çevrilmişdir.

VE-nin RT integrasiyası problemləri beynəlxalq səviyyədə müxtəlif qurumlar tərəfindən dəstəklənir, buna misal olaraq Avropa Vətəndaş Elmi Assosiasiyasının (ECSA) “Sağlamlıq üçün VE işçi qrupu”-nu (<https://www.ecsa.ngo/working-groups/citizen-science-for-health/>) göstərmək olar. Onun məqsədi VE-nin sağlamlığa sosial və elmi təsirini artırmaqdır.

Ədəbiyyatları təhlil edərək, RT-in inkişafında VE-nin integrasiyası mühüm əhəmiyyətə malik olması qənaətinə gəlmək olar.

III. VƏTƏNDAŞ ELMINİN RƏQƏMSAL TİBBİN İNKİŞAFINA TƏSİRİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Son illərdə VE ictimai sağlamlığı yaxşılaşdırmaq, xəstəliklərin qarşısının alınmasını optimallaşdırmaq və səhiyyə nəzarətini inkişaf etdirmək üçün potensial nümayiş etdirmişdir ki, bu da onun səhiyyə sektorunda əhəmiyyətli dərəcədə genişlənməsinə kömək etmişdir. VE yoluxucu xəstəliklərin monitorinqində aparıcı rol oynamağa başlamışdır. Məsələn, ABŞ-ın Men ştatında gənə və patogen infeksiyaların yayılmasını öyrənmək üçün həyata keçirilən VE layihəsi məlumatların keyfiyyətini və əhatə dairəsini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmışdır. COVID-19 pandemiyası zamanı VE tədqiqatçılara xəstəliyin kompleks təsirlərini hərtərəfli qiymətləndirməyə imkan verərək, xəstəliyin gündəlik həyata təsirini başa düşməyə töhfə vermişdir [10].

Xroniki xəstəliklərin qarşısının alınmasında VE-nin rolu getdikcə daha çox tanınır. Bu təşəbbüslər ictimaiyyətin iştirakı, məlumatların toplanması vasitəsilə maarifləndirmə və qiymətləndirmədə mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, xroniki xəstəliklərin idarə edilməsində VE layihələri xəstələrdən rəy və fikirlər toplamaqla xəstələrin həyat keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına əhəmiyyətli töhfə verir. VE peyvəndlə bağlı tərəddüdlərə səbəb olan bir sıra amilləri müəyyən etməklə, insanların elmə olan etimadını gücləndirməklə peyvəndin aparılmasına və ictimai səhiyyə siyasətinə töhfə verə bilər,

bununla da peyvənd göstəricilərini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaqla birləşdirilə bilər.

VE sağlamlıq və rifah məqsədlərinə nail olmaqda yüksək effektivliyə malik olmasını sübut etmişdir. Məlumatların sistemli şəkildə toplanması və izlənməsi ilə o, ənənəvi məlumat mənbələrindəki boşluqları aradan qaldırır, bununla da global sağlamlıq məqsədlərinə nail olmaq cəhdlərini dəstəkləyir. Bu metodologiya verilənlərdəki boşluqları aradan qaldırmaqla yanaşı, həm də yerli, milli və global səviyyələrdə ictimai iştirakı səfərbər edir, beləliklə də siyasətin hazırlanmasına və fəaliyyətə töhfə verir. Bundan əlavə, VE həm də müxtəlif mədəni və sosial kontekstlərdə uyğunlaşma qabiliyyətini nümayiş etdirmişdir. Məsələn, yaşlı iştirakçılar yerli mühiti qiymətləndirərək öz fiziki fəaliyyətlərini yaxşılaşdırmışlar.

Səhiyyə sektorunda təkamül etməyə davam etdikcə, VE-nin miqyasının və təsirinə genişlənməyi gözlənilir ki, bu da səhiyyə siyasəti və ictimai səhiyyənin inkişafına mühüm dəstək verir. Bununla belə, dünya miqyasında artan marağa baxmayaraq, aşağı və orta gəlirli ölkələrdə VE-nə dair elmi tədqiqatlar məhdud olaraq qalır. Bu ölkələrdə VE hələ başlanğıc mərhələsində olmaqla, əsasən ətraf mühit, ekologiya və biomüxtəlifliyin qorunması kimi ənənəvi sahələrdə cəmləşmişdir [11].

Rəqəmsal transformasiya tibb sahəsində inqilaba səbəb olmuşdur. Səhiyyə ekosistemi çərçivəsində verilənlərin distant qeydiyyatı və müvafiq informasiya mübadiləsi imkanları verən, bununla da hərtərəfli tibbi yardımın göstərilməsini təmin edən alətlər tibbi-sanitar tədbirlərin səmərəliliyinin artırılması baxımından potensial imkanlarını göstərmişlər. Buraya Əşyaların interneti, distant tibbi yardım, distant monitorinq, Sİ, böyük verilənlərin təhlili, blokçeyn, intellektual portativ elektron cihazlar, platformalar və alətlər daxildir. Onların tətbiqi ilə toplanılan verilənlər əsasında tibbi diaqnostikanın təkmilləşdirilməsi, rəqəmsal terapevtik yardım sistemlərinin yaradılması, klinik tədqiqatların aparılması, fərdi yanaşma əsasında tibbi yardımın təşkili, eləcə də tibbi-sanitar yardım sahəsində mütəxəssislərin elmi bilikləri, bacarıqları səviyyəsinin yüksəldilməsi baş verir. Öz növbəsində, rəqəmsal texnologiyalar vətəndaşlara real vaxt rejimində tibbi tədqiqat proseslərində iştirak etmək imkanı verməklə VE-nin potensialını genişləndirə bilər.

Elmi tədqiqat fəaliyyətinin əsas elementləri tədqiqatçı (tədqiqatçılar qrupu), tədqiqat obyekti və tədqiqat vasitələrindən ibarətdir. Elmin təkamülü: (I) - informasiyanın toplanması (qeydiyyatı); (II) yadda saxlanması; (III) informasiyanın emalı (məntiq və hesablama vasitələri) və (IV) ötürülməsi (əldə olunmuş biliklərin uzaq məsafəyə yayılması) kimi problemlərin həlli vasitələri və metodlarının təkmilləşməsi və inkişafı ilə əlaqədardır. Elmin tarixi insan sivilizasiyasının yaranması ilə başlamış və məhz qeyd olunmuş problemlərin həllindən asılı olaraq bu günə kimi müxtəlif mərhələlərdən keçmişdir. Hazırkı mərhələ e-elmlə xarakterizə olunur və VE də onun bir istiqaməti hesab edilir. XXI əsrlə müqayisədə sivilizasiyanın keçdiyi formasiyalarda bu problemlərə nəzər salsaq, müasir texnologiyaların yaratdığı imkanlar nəticəsində elmi fəaliyyətdə köklü dəyişikliklərin baş verməsinin şahidi oluruq. Beləliklə, elmin keçdiyi inkişaf mərhələləri ilə yanaşı

VE də inkişaf etmiş və hazırda global problemlərin həllində aparıcı mövqeyə malikdir.

VE geniş mənada elmi tədqiqatlarda və bilik istehsalında ictimai iştirak kimi müəyyən edilir. Son onillikdə VE layihələrində və onun iştirakçılarının sayında böyük artım müşahidə edilmişdir. Bu, IT-nin, xüsusən də şəbəkə texnologiyalarının, İnternetin inkişafı, verilənlərin emalı və saxlanması, veb-texnologiyalar əsasında qrafik istifadəçi interfeyslərinin, coğrafi informasiya sistemlərinin, mobil texnologiyalar, smartfonlar, planşetlər və digər portativ qurğuların yaranması ilə bağlıdır. Bu baxımdan, Sənaye 4.0 konsepsiyasının alətlərinin istifadəsi də xüsusi aktuallıq kəsb edir.

VE elm və geniş ictimaiyyət arasında əlaqələri gücləndirə bilən müxtəlif metodologiyaları, vətəndaş alimləri və təcrübələri ehtiva edir. O, fərdləri və cəmiyyətləri gücləndirərək daha inklüziv elmi təcrübələri və nəticələri dəstəkləyə bilər. VE maarifləndirməni artırmaqla cəmiyyətin üzvləşdiyi problemlərin birgə şəkildə həlli üçün fəaliyyəti, yerli, milli və global səviyyədə qəbul edilən qərarları istiqamətləndirərək, daha inklüziv və məsuliyyətli qərarların qəbulunu təşviq edə bilər. O, həm də elm və siyasət üçün vacib olan əsas məlumat boşluqları və ehtiyacları ilə əlaqəli olan problemləri həll etməyə kömək edə bilər.

VE əsasən özünü ətraf mühit və ekologiya sahəsində göstərsə də, o, həmçinin səhiyyə və tibb kimi digər sahələrdə də tanınır. Məsələn, səhiyyə sahəsində VE yanaşmaları psixi sağlamlıq, tütün və alkoqol istehlakına nəzarət, qidalanma və fiziki fəaliyyət kimi müxtəlif problemləri həll etmək üçün xroniki xəstəliklərin qarşısının alınmasında istifadə olunur. Həmçinin tibbi tədqiqatlarda portativ cihazlar və ya mobil proqramlardan istifadə edərək sağlamlıq vəziyyəti haqqında öz hesabatını, cəmiyyətə əsaslanan monitorinq layihələrində ictimai xidmətlərin göstərilməsinin monitorinqini dəstəkləmək üçün icmaları səfərbər etmək və xəstələrin dəstəklədiyi tədqiqat şəbəkələrində mürəkkəb sağlamlıq şəraitinin idarə edilməsi təcrübələrini bölüşmək daxildir.

VE-nin əsas xüsusiyyəti könüllülərin geniş məkan və zaman üzrə böyük həcmdə verilənlərin toplanmasında iştirakıdır. VE yanaşmaları iştirakçıların rolunun məlumat toplamaq və ya təhlil etmək olduğu layihələrdən, tədqiqatın layihələndirilməsi daxil olmaqla, tədqiqatın əksər, bəzən də bütün mərhələlərində könüllülərin iştirak etdiyi birgə yaradılmış layihələrə qədər dəyişir. Könüllülərin iştirakı müxtəlif səviyyələr üzrə həyata keçirilir. Qruplaşdıraraq onların əsasını aşağıdakı kimi göstərmək olar:

- *Könüllülərin yalnız ilkin verilənlərin toplanmasında iştirakı* (bəzən “sensor rolunu oynayır” kimi də ifadə olunur);
- *İştiraklı elm – əməkdaşlıq layihələri*. Bu qrup layihələr alimlər tərəfindən işlənir və könüllülər ilkin verilənlərin toplanması ilə yanaşı, eyni zamanda verilənlərin analizində, alınan nəticələrin paylanması mərhələlərində də iştirak edirlər;
- *Elmi əməkdaşlıq – birgə layihələr*. Bu qrup layihələr alimlər və könüllülər tərəfindən birgə işlənir və

könüllülərin müəyyən hissəsi layihənin bütün və ya əksər mərhələlərində fəal iştirak edir;

- *Ekspert qiymətləndirmələrində iştirak.* Burada yüksək intellektli könüllülərin layihələrdə ekspert kimi iştirakı nəzərdə tutulur.

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, bu təsnifata uyğun olaraq VE layihələrində iştirakçıların fəaliyyətinin mürəkkəbliyi artdıqca, layihələrin sayı da azalır. Bu azalma eyni zamanda layihələrin xarakterindən də asılıdır, belə ki, RT-ə aid VE layihələrində bu təsnifata uyğun könüllülərin iştirakı artmaqdadır.

IV. RƏQƏMSAL TİBBİN İNKİŞAFINDA VƏTƏNDAŞ ELMİNİN İMKANLARI VƏ TƏTBİQİ PERSPEKTİVLƏRİ

RT-in inkişafında VE-nin imkanlarının və perspektivlərinin əhatə dairəsini tədqiq edilmiş ədəbiyyatlar, VE layihələri və aşağıda verilmiş istiqamətlər üzrə alınmış nəticələrə əsasən təsəffür etmək olar:

- *Tibbi məlumatların toplanması və təhlili.* Könüllülərdən (xəstələr də ola bilər) daşınan cihazlar, mobil proqramlar və onlayn platformalar vasitəsilə sağlamlıq məlumatlarının toplanmasına misal olaraq, **Open Humans** (openhumans.org) layihəsini göstərmək olar. Layihə çərçivəsində könüllülərə elmi araşdırmalar üçün tibbi və genetik məlumatlarını paylaşmaq imkanı verilir.
- *Yoluxucu xəstəliklərin monitorinqi və epidemiyaların proqnozlaşdırılması.* Məsələn, qripin yayılmasını izləmək üçün **Flu Near You** (flunearyou.org) VE layihəsi. Könüllülər xəstəlik simptomlarını anonim şəkildə bildirir və toplanan məlumatlar epidemioloqlar tərəfindən infeksiyaların əhatə dairəsinin və yayılmasının proqnozlaşdırılmasında istifadə olunur.
- *Fərdiləşdirilmiş tibb. Personal Genome Project* (personalgenomes.org) – Könüllülərin tədqiqat üçün genetik məlumatları və tibbi qeydləri əsasında genetikanın xəstəliklərə təsirini öyrənməyə və fərdiləşdirilmiş tibbi inkişaf etdirməyə kömək edir.
- *Tibbi proqram təminatının və alqoritmlərin işlənməsi.* İstifadəçilər üçün açıq olan layihələr proqramlaşdırma və məlumatların təhlili ilə məşğul olan könüllülərə tibbi məlumatların diaqnostikası, monitorinqi və təhlili üçün proqram təminatı işləmək imkanı verir. Məsələn, **Nightscout** (nightscout.github.io) – şəkərli diabet xəstələri və diabetli uşaqların valideynləri tərəfindən real vaxt rejimində davamlı qlükoza monitorinqi sensorlarından məlumatları vizuallaşdırmaq, saxlamaq və paylaşmaq üçün istifadə edilən açıq mənbəli bulud əsaslı proqramdır.
- *Tibbi biliklərin öyrənilməsi və populyarlaşdırılması.* Layihə iştirakçıları xəstəliklər, profilaktika və müalicə üsulları haqqında məlumatların yaradılmasında və yayılmasında bilavasitə iştirak edirlər.

PatientsLikeMe (patientslikeme.com) – xəstələr üçün müalicə təcrübələrini paylaşmağa və tibbi araşdırmalara kömək edə biləcək sosial şəbəkədir. Eyni xəstəlikləri olan insanları tapmağa və müxtəlif müalicə üsullarının effektivliyini izləməyə imkan verir.

Beləliklə, qeyd olunmuş VE təşəbbüslərinin siyahısını artırmaq da olar və bu, rəqəmsal tibbin inkişafı üçün geniş imkanlar və perspektivlərin olmasına əsas verir.

V. NƏTİCƏ

Aparılmış araşdırmalar göstərir ki, RT-in inkişafında könüllü vətəndaşların iştirakı mühüm əhəmiyyətə malikdir. Bu inkişafda VE-nin imkanları və tətbiqi perspektivləri olduqca genişdir. Belə nəticəyə gəlmək olar ki, VE tibbi tədqiqatların əhəmiyyətli dərəcədə sürətlənməsinə, diaqnostikanın təkmilləşməsinə və tibbi innovasiyaların yaradılmasına töhfə verməklə RT-in inkişafında mühüm rol oynayır. Mövcud çətinliklərə baxmayaraq, onun tətbiqi imkanları bu inkişaf üçün əhəmiyyətli perspektivlər vəd edir.

İSTİNADLAR

- [1] R.M. Alguliyev, R.G. Alakbarov, and T.Kh. Fataliyev, Electronic science: current status, problems, and perspectives. Problems of information technology, 2015, 6(2), pp. 4–14.
- [2] Т.Х. Фаталиев, Н.Н. Вердиева, Исследование возможностей применения решений Industry 4.0 в гражданской науке. Информационные технологии. Проблемы и решения, 2021, (2), с. 39-44.
- [3] Y. Feng, Bibliometric analysis of citizen science in global healthcare: Current trends, challenges, and future directions. Journal of Clinical Technology and Theory, 2024, Vol 1, pp.41-50.
- [4] C.M. van Leersum, et al. Citizen involvement in research on technological innovations for health, care or well-being: a scoping review. Health Res Policy Sys, 2024, 22, p. 119.
- [5] T.R. Katapally, It's late, but not too late to transform health systems: a global digital citizen science observatory for local solutions to global problems. Frontiers in Digit Health, 2024, 6, p. 1399992.
- [6] L. Naccarella, et al., Unlocking the Potential for Implementation of Equitable, Digitally Enabled Citizen Science: Multidisciplinary Digital Health Perspective. Journal of Medical Internet Research, 2024, 26, p. e50491.
- [7] L.G. Rosas, P. Rodriguez Espinosa, F. Montes Jimenez, and A.C. King, The role of citizen science in promoting health equity. Annual review of public health, 2022, 43(1), pp. 215-234.
- [8] A.E. Cozen, et al., Factors associated with anxiety during the first two years of the COVID-19 pandemic in the United States: an analysis of the COVID-19 Citizen Science study. Plos one, 2024, 19(2), p. e0297922.
- [9] Y.R. Tan, et al., A call for citizen science in pandemic preparedness and response: beyond data collection. BMJ Global Health, 2022, 7(6), p. e009389.
- [10] M.M. Meurer, M. Waldkirch, P. K. Schou, E. L. Bucher, & K.Burmeister-Lamp, Digital affordances: How entrepreneurs access support in online communities during the COVID-19 pandemic. Small Business Economics, 2022, pp. 1-27
- [11] R. Pateman, H. Tuhkanen, & S. Cinderby, Citizen Science as a Tool for Environmental Justice: Empowerment and Transformation. Sustainability, 2021, 13(17), p. 9534.

Rəqəmsal Tibbi Terminoloji Sistemin Formalaşması Problemləri və Onların Həlli Yolları

Əfruz Qurbanova¹, Mehriban Bağirova²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹afruz1961@gmail.com, ²mehriban.amea@gmail.com

Xülasə — Rəqəmsal tibbi terminoloji sistem beynəlxalq standartlara cavab verən vahid terminologiyadan, böyük həcmli məlumatların saxlanması, emalı üçün güclü rəqəmsal platformadan istifadəni və digər tibbi informasiya sistemləri ilə inteqrasiyanı tələb edir. Tədqiqat işində rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması problemləri araşdırılmışdır. Rəqəmsal tibbi terminologiyanın Big Data texnologiyaları ilə qarşılıqlı əlaqəsi, bu texnologiyaların tibbi məlumatların təhlili, fərdiləşdirilmiş və keyfiyyətli xidmətlərin göstərilməsi üçün açdığı yeni imkanlar analiz edilmişdir. Rəqəmsal tibbi terminologiyanın idarə edilməsi sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün təbii dilin emalı, süni intellekt və blokçeyn texnologiyalarından istifadənin üstünlükləri araşdırılmışdır. Tibbi informasiya sistemlərinin qarşılıqlı fəaliyyətini təmin etmək, tibbi sənədlərin keyfiyyətini artırmaq və klinik qərarların qəbulunu dəstəkləmək üçün standart terminologiyadan istifadənin faydaları təhlil edilmişdir. Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin inkişaf perspektivləri müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər — rəqəmsal tibbi terminologiya, tibbi terminoloji lüğət, tibbi terminologiya standartları, tibbi terminoloji informasiya sistemi, Big Data, süni intellekt

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə səhiyyə və tibb sahəsində rəqəmsallaşma geniş vüsət alır. Rəqəmsal səhiyyə sistemlərinin inkişafı ilə bərabər, tibbi terminologiyanın standartlaşdırılması və vahid tibbi terminoloji sistemin formalaşdırılması zərurətə çevrilmişdir. Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin yaradılması tibb işçiləri, tədqiqatçılar və səhiyyə idarəetmə strukturları üçün vacibdir. Standartlaşdırılmış tibbi terminologiyanın tətbiqi və vahid tibbi terminoloji sistemin yaradılması rəqəmsal səhiyyənin inkişafı və yüksək keyfiyyətli tibbi xidmətlərin göstərilməsi üçün ilkin şərtlərdəndir.

Tibbi termin tıbdə müəyyən bir anlayışı aydın və birmənalı şəkildə təyin etmək üçün istifadə olunan ixtisaslaşdırılmış leksik vahiddir. Bu terminlər tibb sahəsinin mütəxəssisləri arasında səmərəli məlumat mübadiləsinə imkan verir və tibbi sənədlərdə aydınlığı təmin edir. Terminologiya bütün dillərdə mövcud olan formalaşmış anlayışlar əsasında qurulmuş terminlər sistemidir [1].

Tibbi terminoloji məlumatların vahid bazasının yadılması və saxlanması onların emalı proseslərini optimallaşdırmaqla yanaşı, həm də tibbi xidmətin keyfiyyətinin yüksəldildir və təhlükəsizliyinin təmin edir. Bu məqsədlə işlənən klinik qərarların qəbulunun dəstəklənməsi sistemləri (Clinical Decision Support System, CDSS) elektron sağlamlıq qeydlərinə

(Electronic health records, EHR) və tibbi sifarişlərin kompüterləşdirilmiş girişinə (computerized physician order entry, CPOE) nail olmağa imkan verir [2, 3]. Bu sistemlər standartlaşdırılmış tibbi terminologiyaya çıxışı təmin etməklə diaqnostik dəqiqliyi yaxşılaşdırmağa, müalicəni optimallaşdırmağa və səhv riskini azaltmağa kömək edir, nəticədə tibbi xidmətin keyfiyyəti yüksəlir [4]. Klinik qərarların qəbulunu dəstəkləyən sistemlərə intensiv terapiyanın dəyərlərini verən laboratoriya informasiya sistemlərini (laboratory information systems, LIS), yeni dərman sifarişini və mümkün dərmanların qarşılıqlı təsirlərini təklif edən aptek informasiya sistemlərini (pharmacy information systems, PIS) nümunə göstərmək olar [5, 6].

Tədqiqat işində rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması problemləri analiz olunur, problemlərin həlli istiqamətində təkliflər verilir.

II. RƏQƏMSAL TIBBI TERMINOLOGİYANIN FORMALAŞMASI

Müasir rəqəmsal tibbi terminologiya səhiyyədə informasiya texnologiyalarının tətbiqi və inkişafı ilə sıx bağlı olan nisbətən gənc, lakin sürətlə inkişaf edən bir sahədir.

Rəqəmsal tibbi terminologiya sistemi tibbi terminologiyanın standartlaşdırılması, təşkili və axtarışı üçün nəzərdə tutulmuş kompüterləşdirilmiş sistemdir. Bu sistemlər sənədləşdirmənin dəqiqliyi, informasiya mübadiləsi, verilənlərin analizi və klinik qərarların qəbulunun dəstəklənməsi üçün vacib olan tibbi terminlərin istifadəsində vahidliyi təmin etməklə səhiyyədə əsas rol oynayır.

Elmin inkişafı ilə yeni tədqiqat və müalicə üsullarının yaranması nəticəsində tibb sahəsində yeni terminlərin yaranmasına baxmayaraq, yunan-latın tibbi terminoloji sistemi müasir tıbdə öz aktuallığını saxlayır. Bu dillər tibb elmində istifadə olunan bir çox müasir terminlərin əsasını təşkil edir [7]. Müasir dövrdə istifadə edilən standart tibbi lüğətlərin 90%-dən çoxunu yunan və latın sözlərindən ibarət terminlər təşkil edir. Bu terminlərdən bəziləri 2000 il əvvəl Hippokrat, Aristotel və Galen tərəfindən istifadə edilmişdir [8]. Sonrakı dövrlərdə tibbi terminologiya Vasalius, Fabricius və Harvey tərəfindən təkmilləşdirilmişdir. Alimlər yeni terminoloji baza yaratmasalar da, onların fundamental kəşfləri tibbi terminologiyaya əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmiş, mövcud yunan-latın lüğətinin mənalılarının aydınlaşdırılmasına, vizuallaşdırılmasına töhfə vermiş, daha dəqiq və standartlaşdırılmış tibbi dilin gələcək inkişafında böyük rol oynamışdır [9].

1980-ci illərdə verilənlər bazası texnologiyası sahəsində irəliləyişlər, rəqəmsal tibbi nəşrlərin yaranması tibbi terminologiyanın rəqəmsallaşdırılmasında əsaslı dönüş yaratmışdır. Bu texnoloji yeniliklər tibbi məlumatların daha sürətli mübadiləsinə və elektron tibbi resursların yeni formalarının inkişafına yol açmışdır.

1990-cı illərin ortalarında internetin inkişafı ilə Dorlandın İllüstrasiyalı Tibbi Lügəti (Dorland's Illustrated Medical Dictionary), Stedmanın Tibbi Lügəti və Taberin Tibbi Lügəti (Taber's Cyclopedic Medical Dictionary) kimi nüfuzlu tibbi termin lüğətləri rəqəmsallaşdırılaraq istifadəyə verilmişdir. Tibbi lüğətlərin rəqəmsallaşdırılması terminlərin təriflərinin, sinonimlərinin və əlaqəli anlayışlarının axtarışının səmərəliliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmış, həmçinin tibbi terminologiyanın daha dolğun və müasir sistemlərinin işlənilməsi və yenilənməsi üçün texniki baza yaratmışdır [10].

XIX əsrin ortalarında peşəkar tibbi terminoloji sistemlər işləndi, bu, səhiyyənin inkişafında mühüm addım oldu. Bu dövr tibbi terminlərin sistemləşdirilməsi və standartlaşdırılması ilə əlamətdar oldu. Rəqəmsal tibbi terminologiyanın fəal inkişafı və standartlaşdırılması dövrü başladı. Elektron sağlamlıq qeydləri və informasiya mübadiləsi sistemlərinin istifadəsinin genişlənməsi ilə məlumatların uyğunluğunu və düzgünlüyünü təmin etmək üçün tibbi terminologiyanın standartlaşdırılmasına ehtiyac yarandı.

Tibbi terminologiya səhiyyənin dilidir. Tibbi terminlərin standartlaşdırılması məqsədilə ekspertlər anatomiya, patologiya və farmakologiyaları təsvir etmək üçün yunan və latın dillərinə əsaslanaraq tibbi terminoloji lüğətlər və sistemləşdirilmiş təsnifatlar hazırladılar. Bu prosesin nəticəsi tibb təhsilinin, bu sahədə elmi tədqiqatların və klinik praktikanın inkişafına mühüm təsir göstərən aydın və birmənalı tibbi terminlər sisteminin formalaşmasına səbəb oldu.

III. RƏQƏMSAL TİBBİ TERMINOLOGİYA STANDARTLARI

Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması tibb sahəsinin mütəxəssislərinin birgə səylərini tələb edən mürəkkəb və çoxşaxəli prosesdir. Bu proses tibbi terminlərin toplanması, standartlaşdırılması, strukturlaşdırılması və kodlaşdırılmasını nəzərdə tutur.

Rəqəmsal tibbi terminologiyanın müasir standartları elektron qaydada saxlanılan və ötürülən tibbi məlumatların vahidliyini, dəqiqliyini və qarşılıqlı əlaqəsini təmin etməyə yönəlmişdir. Bu standartlar müxtəlif səhiyyə informasiya sistemləri arasında səmərəli informasiya mübadiləsi, tibbi xidmətin keyfiyyətinin yüksəldilməsi, klinik tədqiqatların və məlumatların təhlilinin dəstəklənməsi üçün zəruridir.

Beynəlxalq Standartlaşdırma Təşkilatının (ISO) tələblərinə görə, terminologiya dildən asılı olmayaraq sistemli şəkildə formalaşmış anlayışlar toplusu olmalı, hər bir anlayış əsas termin və əlaqəli sinonim terminlərlə ifadə edilməli, eyni zamanda anlayışlar arasında məntiqi və semantik əlaqələr aydın şəkildə göstərilməlidir. Bu cür terminologiyanın inkişafı və saxlanması rəqəmsal resursların keyfiyyətini və əlçatanlığını təmin etmək üçün vacib vəzifədir [11].

Müasir rəqəmsal tibbi terminologiya standartları səhiyyə sistemlərində, xüsusən də elektron sağlamlıq qeydlərində, klinik qərarların qəbuluna dəstək sistemlərində və səhiyyə informasiya sistemlərində (Health Information Systems) informasiya mübadiləsinin düzgünlüyünün, ardıcılığının və qarşılıqlı fəaliyyətinin təmin edilməsində mühüm rol oynayır. Bu standartlar müxtəlif sistemlər arasında qarşılıqlı anlaşmaya imkan verir ki, bu da, tibbi xidmətlərin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına gətirib çıxarır.

Rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi səhiyyə sahəsində standartlaşdırılmış tibbi terminoloji sistemlərin yaradılmasını stimullaşdırır. Rəqəmsal tibbi terminologiya sistemi tibbi məlumatların ardıcılığını, dəqiqliyini və qarşılıqlı əlaqəsini təmin etmək üçün müxtəlif standartlardan istifadə edir.

Rəqəmsal tibbi terminologiyanın ən əhəmiyyətli müasir standartları aşağıdakılardır:

- SNOMED CT (Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms) - Dərman Vasitələrinin Sistemləşdirilmiş Nomenklaturası - Klinik terminlər: tibbi anlayışları əhatə edən klinik terminlərin (xəstəliklər, simptomlar, mikroorqanizmlər və s.) geniş, çoxdillli sistemidir [12].
- LOINC (Logical Observation Identifiers Names and Codes) - Adlar və Kodların Məntiqi Müşahidə İdentifikatorları: laboratoriya və klinik müşahidələri müəyyən etmək üçün standartdır [13].
- ICD (International Classification of Diseases) - Xəstəliklərin Beynəlxalq Təsnifatı: xəstəliklərin və diaqnozların təsnifatı. Sağlamlığın statistikasi və epidemioloji tədqiqatlar üçün istifadə olunan xəstəliklərin və sağlamlıqla bağlı problemlərinin təsnifatı üçün standartlaşdırılmış sistemdir. Hal-hazırda ICD-10, ICD-11 standartları ən çox istifadə olunur [14].
- CPT (Current Procedural Terminology) - Mövcud Prosedur Terminologiyası: tibbi, cərrahi, diaqnostik prosedurları və xidmətləri təsvir etmək üçün kodlar [15].
- ATC (Anatomical Therapeutic Chemical Classification System) – Dərman preparatlarının təsnifatı Anatomik Terapevtik Kimyəvi təsnifat sistemi: əczaçılığın tərkib hissələrini anatomik təyinatına, müalicəvi göstərisinə, farmakoloji mexanizminə və kimyəvi quruluşuna görə təsnif edən iyerarxik dərman təsnifat sistemidir. [16].
- RxNorm: dərman adlarını normallaşdırmaq və sağlamlıq sistemləri arasında qarşılıqlı əlaqəni dəstəkləmək üçün bir sistemdir. [17].
- UMLS (Unified Medical Language System) - Vahid Tibbi Dil Sistemi: çoxsaylı tibbi lüğət və terminologiyaları bir araya gətirən integrasiya olunmuş sistemdir [18].
- MedDRA (Medical Dictionary for Regulatory Activities) - Tənzimləyici Fəaliyyətlər üçün Tibbi

Lüğət: dərmanlar və tibbi cihazlarla bağlı beynəlxalq səviyyədə istifadə olunan terminlər toplusudur. [19].

İnteroperabellik standartları tibdə effektiv və müasir səhiyyə sisteminin yaradılması üçün vacib sahədir. Bu standartlar müxtəlif sağlamlıq məlumat sistemlərinə, cihazlarına və proqramlarına ardıcıl şəkildə məlumat əldə etməyə, informasiya mübadiləsinə, inteqrasiyaya imkan verən qaydalar, spesifikasiyalar və təlimatlar toplusudur.

İnteroperabellik standartları:

- HL7 (Health Level Seven) – Tibbi məlumatların mübadiləsi üçün protokol [20].
- FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) – Müasir səhiyyə informasiya sistemləri arasında informasiya mübadiləsi üçün standart [21].
- DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) – Tibb görüntülərinin paylaşılması üçün standart [22].

Rəqəmsal transformasiyalar dövründə tibbi terminlərin idarə olunması və sistemləşdirilməsi zəruridir. Tibbi terminologiya mənbələrinin vahid sistemdə birləşdirilməsi rəqəmsal səhiyyənin inkişafı prosesində mürəkkəb və vacib məsələlərdəndir. Müxtəlif tibb müəssisələrində, elmi nəşrlərdə və məlumat bazalarında saxlanılan tibbi terminoloji məlumatların parçalanması və uyğunsuzluğu informasiya mübadiləsinə və məlumatların təhlilini ciddi şəkildə çətinləşdirir. Vahid tibbi terminoloji sistemlərin olmaması səhiyyə sisteminə informasiya mübadiləsində ciddi problemlərə səbəb ola bilər. Bu mənbələri birləşdirən vahid sistemin yaradılması terminlərin standartlaşdırılmasını, ümumi təsnifatların və ontologiyaların işlənilib hazırlanmasını, verilənlərin avtomatik emalı və inteqrasiyası üçün süni intellekt texnologiyalarından istifadəni tələb edir. Belə bir sistemin formalaşması tibbi məlumatların vahidliyini və uyğunluğunu təmin edəcək, diaqnostika və müalicənin düzgünlüyünü artıracaq, elmi tədqiqatların aparılmasına, yeni müalicə üsullarının işlənilib hazırlanmasına və beynəlxalq əlaqələrin optimallaşdırılmasına şərait yaradacaq.

Əsrlər boyu inkişaf edən tibbi terminologiya müxtəlif dillərdə formalaşmış və istifadə olunmuşdur. Çoxdilli tibbi terminoloji məlumat bazalarının yaradılması bütün dünyada səhiyyənin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması üçün vacib olan bir vəzifədir. Müxtəlif ölkələrin və təşkilatların birgə səyləri sayəsində tibbi terminlər və təsnifatlar vahidləşdirilir ki, bu da tibbi məlumatların başa düşülməsini və şərhini (izahını) xeyli asanlaşdırır. Çoxdilli tibbi terminoloji verilənlər bazasının inkişafı tibbi məlumatların qlobal mübadiləsinə asanlaşdırır, dillər arasında terminlərin dəqiqliyini və ardıcılığını təmin edir.

IV. RƏQƏMSAL TİBBİ TERMINOLOJİ SİSTEMİN İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

Rəqəmsal tibbi terminologiya səhiyyə sisteminin inkişafı üçün müxtəlif perspektivlər açır. Rəqəmsal tibbi terminologiya sürətlə inkişaf edən sahələrdən biridir və səhiyyə sistemlərinin daha effektiv, inteqrasiya olunmuş və avtomatlaşdırılmış hala gəlməsində mühüm rol oynayır.

Rəqəmsal tibbi terminologiya süni intellekt (SI) və maşın təlimi (ML) texnologiyaları ilə inteqrasiyası vasitəsilə daha da inkişaf edəcək. Bu texnologiyalar böyük həcmdə strukturlaşdırılmamış məlumatlardan yeni tibbi anlayışları avtomatik müəyyən etmək və onları mövcud terminologiya sistemlərinə inteqrasiya etmək üçün istifadə edilə bilər. Bu, tibb elminin sürətlə inkişafı şəraitində terminologiyanın aktuallığını qoruyub saxlamağa kömək edəcəkdir.

Rəqəmsal tibbi terminologiyanın formalaşdırılması problemlərinin həlli istiqamətində aşağıdakılar tövsiyə olunur:

- Çoxdilli resursların yaradılması: Müxtəlif dillərdə tibbi terminologiyaları əlçatan edəcək çoxdilli lüğətlər və ontologiyaların yaradılması;
- Terminlərin avtomatik tərcüməsi üçün alətlərin hazırlanması: Terminlərin avtomatik tərcüməsi alətləri dil maneələrini aradan qaldırmağa və müxtəlif ölkələrin mütəxəssisləri arasında məlumat mübadiləsinə təmin etməyə kömək edə bilər.
- Mövcud tibbi termin və anlayışların identifikasiyası: Rəqəmsallaşdırma zamanı qeyri-müəyyənliyi aradan qaldırmaq üçün tibbi terminologiyanın linqvistik xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi zəruridir.
- Süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi: Bu texnologiyalar tibbi mətnləri avtomatik emal etmək, terminləri və onların təriflərini çıxarmaq üçün istifadə edilə bilər.

Blockchain texnologiyası müxtəlif tibbi terminologiya və standartlara uyğun metaverilənlərin mübadiləsinə imkan verən təhlükəsiz, mərkəzləşdirilməmiş infrastruktur yaratmaq potensialına malikdir. Belə bir platformanın tətbiqi tibbi terminologiya sistemlərinin müqayisəli analizinə, müxtəlif qurumlar və sistemlər arasında sağlamlıq məlumatları əsasında mübadilə aparmağa kömək edə bilər [23].

Tibbi məlumatların artan həcmi və mürəkkəbliyi rəqəmsal tibbi terminologiyanın Big Data texnologiyaları ilə inteqrasiyasını zəruri edir. Bu, tibbi xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına, xərclərin azaldılmasına, səhiyyə sistemlərinin səmərəliliyinin artırılmasına imkan verir, müxtəlif tibbi terminologiya standartlarının müqayisəsini və inteqrasiyasını yaxşılaşdırır [24].

Təbii dilin emalı (Natural language processing, NLP) üsullarından istifadə tibbi terminlərin kontekstli başa düşülməsini təmin edəcək, məlumatların axtarışı və təhlilinin dəqiqliyini artıracaq.

Qeyd edək ki, rəqəmsal dövlət mühitində Azərbaycan dili ekosisteminin tərkib hissəsi kimi milli terminoloji informasiya sisteminin (MTİS) konseptual modeli və veb-portalı işlənmişdir [25]. Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin MTİS-ə inteqrasiyası bu sahənin alim və mütəxəssislərinin imkanlarını xeyli genişləndirəcək, onların zəruri və aktual məlumatlara çıxışını təmin edəcək.

V. NƏTİCƏ

Rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması səhiyyə sektorunda effektiv informasiya mübadiləsinin aparılmasına mühüm töhfə verir. Bu, müxtəlif sahələrdən olan mütəxəssislərin, o cümlədən həkimlərin, dilçilərin, proqramçıların və informasiya texnologiyaları üzrə ekspertlərin əlaqələndirilmiş səylərini tələb edən mürəkkəb və çoxşaxəli prosesdir. Rəqəmsal tibbi terminologiyanın effektiv tətbiqi tibbi məlumatların standartlaşdırılmasını və qarşılıqlı semantik əlaqəsini təmin edir ki, bu da öz növbəsində tibbi xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına, klinik tədqiqatların optimallaşdırılmasına və fərdiləşdirilmiş tibbi yanaşmaların inkişafına töhfə verir.

SNOMED CT, ICD və LOINC kimi beynəlxalq standartların istifadəsi, etibarlı rəqəmsal infrastrukturun yaradılması və bu sahə üzrə mütəxəssislərin hazırlanması rəqəmsal tibbi terminologiyanın uğurlu tətbiqinin əsas aspektləridir.

Rəqəmsal tibbi terminoloji sistem səhiyyənin müasir rəqəmsal transformasiyasının tərkib hissəsidir və onun formalaşması səhiyyənin gələcəyi üçün çox vacibdir. Bu sistemlərin süni intellekt, blokçeyn və bioinformatika kimi texnologiyalarla integrasiyası tibbi xidmətlərin dəqiqliyini, səmərəliliyini və təhlükəsizliyini artırmaq potensialına malikdir. Bu sahədə gələcək irəliləyişlər innovativ səhiyyə həllərini təmin etməyə və tibbi qərarların qəbulu proseslərinin avtomatlaşdırılmasına imkan yaradacaq.

Süni intellekt və böyük verilənlər texnologiyalarından istifadə etməklə rəqəmsal tibbi terminoloji sistem daha da inkişaf edəcək və təkmilləşdiriləcək. Bu texnologiyaların tətbiqi tibbi məlumatların avtomatik emalına, tibbi terminoloji informasiya sisteminin intellektuallaşdırılmasına imkan verəcəkdir.

Beləliklə, rəqəmsal tibbi terminoloji sistemin formalaşması və səmərəli istifadəsi aşağıdakılar üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir:

- Terminlərin birmənalı olmaması ilə bağlı səhvləri azaltmaqla tibbi yardımın keyfiyyətinin yüksəldilməsi;
- Daha dəqiq informasiya mübadiləsi və qərarların qəbulunun dəstəklənməsi ilə xəstələrin təhlükəsizliyinin təmin olunması;
- Proseslərin avtomatlaşdırılması və informasiyaya çıxışın təmin olunması ilə səhiyyə təşkilatlarının işinin səmərəliliyinin yüksəldilməsi;
- Böyük həcmli standartlaşdırılmış informasiyanın analizinə imkan verən tibbi tədqiqatların inkişafı.

İSTİNADLAR

- [1] G.Najmiddinova, “The importance of study medical terminology,” ISJ Theoretical & Applied Science, 05 (97), p. 484-486, 2021.
- [2] J.R.Nebeker et al., “High rates of adverse drug events in a highlycomputerized hospital,” Archives of internal medicine, T.165, № 10, pp. 1111-1116, 2005.

- [3] F.Magrabi et al., “Improving evaluation to address the unintended consequences of health information technology,” Yearbook of medical informatics, T. 25, № 01, pp. 61-69, 2016.
- [4] X. Garg et al., “Effects of computerized clinical decision support systems on practitioner performance and patient outcomes: a systematic review,” Jama, T. 293, №10, C. 1223-1238, 2005
- [5] K. E. Tate, R. M. Gardner, L. K. Weaver, “A computerized laboratory alerting system,” MD computing: computers in medical practice, T. 7, № 5, pp. 296-301, 1990
- [6] G. J.Kuperman et al., “Improving response to critical laboratory results with automation: results of a randomized controlled trial,” Journal of the American Medical Informatics Association, T. 6, № 6, pp. 512-522, 1999
- [7] Basics of Medical Terminology: Latin and Greek Origins. – Medi-lingua, pp. 1-14, 2017
- [8] Y. V. Lysanets, O. M. Bieliaiev, “The use of Latin terminology in medical case reports: quantitative, structural, and thematic analysis,” Journal of medical case reports, T. 12, pp. 1-10, 2018
- [9] F. Burdan et al. “Anatomical eponyms—unloved names in medical terminology,” Folia morphologica, T. 75, №4, pp. 413-438, 2016
- [10] М. Н. Шокирова и Д. Соку, “Преподавание медицинской терминологии: латынь все еще «жива»,” Acta CAMU, 1(ISSN: 2181-4155), pp. 88–93, 2022
- [11] SO/TS 17117:2002(E): Health Informatics-Controlled health terminology-Structure and high-level indicators: Technical Committee ISO/TC 215, Health Informatics, p. 18, 2002.
- [12] K. Donnelly et al., “SNOMED-CT: The advanced terminology and coding system for eHealth,” Studies in health technology and informatics, T. 121, p. 279, 2006
- [13] M. Stram et al., “Logical observation identifiers names and codes for laboratorians: potential solutions and challenges for interoperability,” Archives of pathology & laboratory medicine, T. 144, № 2, pp. 229-239, 2020
- [14] G. R. Brämer, “International statistical classification of diseases and related health problems. Tenth revision,” World Health Stat Q., T. 41, № 1, pp. 32-361, 1988
- [15] [P. L. Elkin, S. H. Brown, “Current Procedural Terminology,” Terminology, Ontology and their Implementations, Cham:Springer International Publishing, p. 367-370, 2023
- [16] E. Sean, “The Anatomical Therapeutic Chemical Classification System,” J Pharmacol, T. 5, №1, p. 1, 2021
- [17] O. Bodenreider, R. Cornet and D. J. Vreeman, “Recent developments in clinical terminologies—SNOMED CT, LOINC, and RxNorm,” Yearbook of medical informatics, T. 27, № 01, pp. 129-139, 2018
- [18] L. Humphreys et al., “The unified medical language system: an informatics research collaboration,” Journal of the American Medical Informatics Association, T. 5, №1, pp. 1-11, 1998
- [19] R. Fescharek et al. “Medical Dictionary for Regulatory Activities (MedDRA) Data Retrieval and Presentation,” International journal of pharmaceutical medicine, T. 18, pp. 259-269, 2004
- [20] R. Noumeir, “Active learning of the HL7 medical standard,” Journal of digital imaging, T. 32, №3, pp. 354-361, 2019
- [21] L. R. Lekkala, “How AI Analytical Models Can Use FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources) Data,” Voice of the Publisher, T. 9, №. 4, pp. 197-206, 2023
- [22] M. Mustra, K. Delac and M. Grgic, “Overview of the DICOM standard,” 2008 50th international symposium ELMAR, IEEE, T. 1, pp. 39-44, 2008
- [23] A. A. Litvin et al., “The possibilities of blockchain technology in medicine,” Современные технологии в медицине, T. 11, №4 (eng), pp. 191-198, 2019
- [24] M. Rauter, S. Wöhlke and S. Schick Tanz, “My Data, My Choice?—German patient organizations’ attitudes towards big data-driven approaches in personalized medicine. An empirical-ethical study,” Journal of Medical Systems, T. 45, № 4, p. 43, 2021
- [25] R. M. Əliquliyev, Ə. M. Qurbanova, “Azərbaycanda terminoloji informasiya sisteminin yaradılmasının konseptual əsasları,” İnformasiya cəmiyyəti problemləri, №1, Bakı, №1, səh. 3–8, 2011

Süni İntellekt Texnologiyalarının Tibbdə Tətbiqinin Yaratdığı İmkanlar və Perspektivlər

Kəmalə Qurbanova

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
kemalewamil@gmail.com

Xülasə—İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının davamlı inkişafı müasir kompüter və robot sistemlərinin təməssiz idarə olunması üçün əlverişli mühit yaratmışdır. İşdə tibb sahəsinə süni intellekt texnologiyalarının (SİT) integrasiyasının mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyi və müxtəlif tibbi proseslərdə əvəzlənməz rolunu qeyd edilmişdir. Müasir zamanda xəstənin mövqeyini və ya hərəkətlərini məhdudlaşdırmadan real vaxt rejimində SİT-dən istifadə etməklə xəstəliklərin monitorinqinə imkan verən üsullar istiqamətində görülən işlər haqqında məlumat verilmişdir. Cərrahi robotların tibb sahəsindəki nailiyyətləri qeyd edilmiş və nümunələr göstərilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, təməssiz idarə olunan texnologiyaların, robototexnikanın, elektron tibbin və teletibb layihələrinin səhiyyə sahəsinə integrasiyası tibb sahəsində yeni perspektivlər açmışdır.

Açar sözlər— süni intellekt texnologiyaları, tibbi robototexnika, robot eksoskeletlər, cərrah-robot, teletibb, kollaborativ robot, robot-laborant.

I. GİRİŞ

Süni intellekt texnologiyalarının (SİT) sürətli inkişafı müasir dövrdə insan fəaliyyətinin bütün sahələrində istisnasız olaraq aparıcı rol oynayır. Müvəffəqiyyətli nəticələrin əldə edilməsi getdikcə daha çox SİT-in səmərəli tətbiqi ilə müşayiət olunur. SİT-in müxtəlif sahələrə integrasiyası iş proseslərini əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirmişdir. SİT-in uğurla tətbiq olunduğu mühüm sahələrdən biri də tədricən rəqəmsal formata keçən səhiyyə sistemidir.

Səhiyyə sisteminə SİT xəstəxanaların tibbi avadanlıqlarla təminatı, tibb işçilərinin yerləşdirilməsi, dərmanların qeydiyyatı və xəstələrin monitorinqi kimi istiqamətlərin idarə olunmasına imkan yaratmışdır. Bura tibbi proseslərin infrastrukturunu və ekosistemlərinin əsas parametrlərinə onlayn nəzarətin müxtəlif innovativ aspektləri də daxildir. Uğurla fəaliyyət göstərən tibbi startaplar müalicə proseslərinin optimallaşdırılması baxımından da əhəmiyyətə malikdir [1].

SİT-in mühüm nailiyyətlərindən biri də cərrahi əməliyyat zamanı yüksək səviyyədə avtonom və operativ idarəetmə imkanını təqdim edən təməssiz tibbi avadanlıqlardır. Təməssiz idarə edilən SİT-in tətbiq dairəsi fərdi kompüterlərdən tutmuş cərrahi robotlara qədər geniş bir spektri əhatə edir. Təməssiz idarəetmə texnologiyaları cihazların uzaq məsafədən idarə edilməsinə imkan yaradır. Xüsusilə əl jestləri ilə idarə olunan təməssiz avadanlıq və ya robotlar əmri daha sürətli və dəqiq yerinə yetirir [2].

SİT-in tətbiqi müxtəlif tibbi xəstəliklərin dəqiq proqnozlaşdırılmasına şərait yaradır. Eyni zamanda, təməssiz idarəetmə texnologiyaları vasitəsilə yaşlı və ya sağlamlıq imkanları məhdud olan xəstələrin vəziyyətinin uzaq məsafədən izlənilməsi və nəzarət altında saxlanılması mümkün olur. Əhalinin sağlamlığına xidmət edən teletibb sistemləri SİT-in inkişafı sayəsində günbəgün təkmilləşir.

II. SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TİBDƏ TƏTBİQ SAHƏLƏRİ

SİT inkişafı qlobal miqyasda davam edir və müxtəlif sahələrdə tətbiq dairəsi genişlənir ki, tibb də bu tendensiyadan kənarda qalmamışdır. Müasir tibbin arsenalında SİT mühüm bir vasitə kimi çıxış edir. SİT tibbi xidmətin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə və səhiyyə sisteminin optimallaşdırılmasına əhəmiyyətli töhfələr verir. Onun tətbiqi xəstəliklərin diaqnostik prosesini sürətləndirir, dəqiqliyini artırır və tibbi yardımın daha adekvat və effektiv şəkildə göstərilməsinə imkan yaradır.

Tibbi robototexnikanın inkişaf istiqamətləri diaqnostika sistemləri, robot cərrahiyyəsi və terapiyası, reabilitasiya sistemləri, təhsil simulyatorları və digər sahələri əhatə edir. Tibbi robototexnikanın inkişafı və ona olan artan tələbat bir sıra beynəlxalq konfransların əsas müzakirə mövzusu olmuşdur.

Sürix Federal Texnologiya İnstitutunda keçirilən “The Rehab Week Zurich 2011” Beynəlxalq Konqresi Beynəlxalq Neyroreabilitasiya Simpoziumu, Beynəlxalq Virtual Reabilitasiya Konfransı və 12-ci Beynəlxalq Reabilitasiya Robototexnika Konfransı kimi üç mühüm beynəlxalq tədbiri bir araya gətirmişdir. Konqresdə dünyanın 30-dan çox inkişaf etmiş ölkəsinin (ABŞ, Çin, Yaponiya, Koreya və s.) aparıcı tədqiqat mərkəzlərinin, ali təhsil müəssisələrinin və təşkilatlarının tanınmış alim və mütəxəssisləri iştirak etmiş, tibb sahəsinə robototexnikanın (xidməti, diaqnostik, terapevtik və s. robotlar) verdiyi töhfələr və klinik təcrübələr müzakirə edilmişdir [3].

Volqoqrad Dövlət Tibb Universitetində keçirilən “Səhiyyədə menecment: 21-ci əsrdə çağırışlar və risklər” VIII Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransında robot texnikasının müasir tibbdə tətbiqi və effektivliyi məsələləri ətrafında müzakirələr aparılmış, müvafiq təklif və tövsiyələr irəli sürülmüşdür [4].

Dünyanın tanınmış alim, tədqiqatçı və mütəxəssislərinin innovativ ixtiraları SİT sahəsində əsaslı dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. Hazırda xəstənin mövqeyini və ya hərəkətlərini məhdudlaşdırmadan real vaxt rejimində SİT-dən istifadə etməklə xəstəliklərin monitorinqinə imkan verən üsullar mövcuddur. Bu texnologiyalar anadangəlmə və ya həyat prosesində yaranan xəstəliklər nəticəsində sağlamlıq imkanları məhdud insanların xəstəliklərinin uzunmüddətli monitorinqi üçün yüksək perspektivə malikdir. Lakin bu üsulların da müəyyən məhdudiyyətləri mövcuddur. Belə ki, müvafiq avadanlıqların əldə edilməsi əhəmiyyətli maddi resurs tələb edir və quraşdırılması ixtisaslaşmış mütəxəssislərin iştirakını zəruri edir [5].

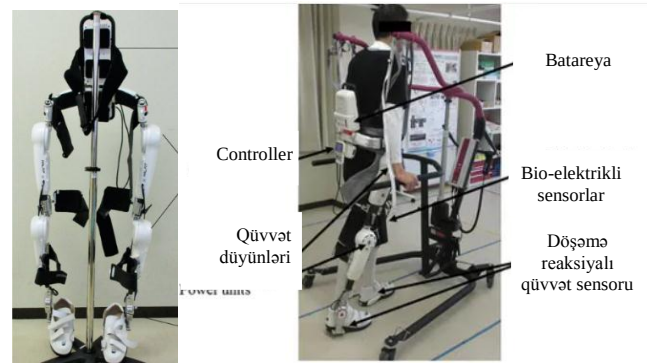
Adi smartfon kamerası vasitəsilə xəstənin sifət cizgiləri video kadr ardıcılığı şəklində qeyd alınır. Bu video kadr ardıcılığında pulsasiya edən fotopletismoqrafik siqnallar, yəni sifətdə xüsusi maraq kəsb edən sahələrdə rəng dəyişiklikləri aşkar edilir. Tanıma metodları vasitəsilə bu siqnallar emal olunur. Nəticədə tənəffüs tezliyi ölçülür və ürək döyüntüsü müəyyən edilir. Lakin əksər hallarda dəqiq nəticələr əldə olunsun da, bu metod bəzən əhəmiyyətli məhdudiyyətlərlə qarşılaşır. Baş nəhiyəsinə sifətin müəyyən hissəsini örtən əşyaların (eynək, yuxu üçün göz maskası, tibbi maska və s.) taxılması, alının saçla örtülməsi, sifətdə saqqal və ya çapıqların olması, xəstənin başını yorğan ilə örtməsi və üzüstə yatması kimi faktorlar video pletismoqrafiyanın dəqiq nəticələrə nail olmasına mane ola bilər [6].

SİT cərrahiyyə, reabilitasiya və xəstələrə qulluq kimi sahələr üçün bir sıra müasir həllər təklif edir. Reabilitasiya sahəsində SİT-in məhsulu olan robot ekzoskeletlər xəstələrə əzələ fəaliyyətini stimullaşdırmaqla yardım edir. Bu robotlar xəstələrin hərəkət dəstəyini təmin etməklə ağır xəsarətlər və insultlardan sonra sağalma prosesində fərdi təlim proqramları təklif edir. Robot texnikasının tətbiqi əzələlərin motor funksiyasının bərpasını asanlaşdıran təlimlərin icrasını sadələşdirir. Robotların köməyi ilə yerinə yetirilən tapşırıqların mürəkkəbliyini tədricən və idarə olunan şəkildə artırmaq mümkündür [7].

Robot ekzoskeletlər sensorlar, batareyalar, mühərriklər və idarəetmə sistemindən ibarətdir. Sensorlar robotla istifadəçinin qarşılıqlı əlaqəsini təmin edir. Batareya robotun enerji mənbəyidir, mühərriklər isə hərəkəti idarə edir. Robot hərəkət məhdudiyyəti, əzələ zəifliyi, iflic və ya zədələr səbəbindən çətinlik çəkən insanın skelet sistemini dəstəkləyir və onun hərəkət imkanlarını artırır.

Bir çox ölkələrdə uğurla tətbiq olunur. Məsələn, Yaponiyada 2018-ci ildə hazırlanan və "HAL" ("Hybrid Assistive Limb") ekzoskelet robotu ABŞ-in reabilitasiya mərkəzlərində və xəstəxanalarda geniş istifadə olunmağa başlamışdır (Şəkil 1.). Hazırda dünya təcrübəsində ekzoskelet texnologiyası sürətlə inkişaf edir [8].

Fiziki terapevt kəməri HAL robotunun istifadəçinin bədənində möhkəm bağlanmasını tənzimləyir



Şəkil 1. HAL akkumulyatorla işləyən ekzoskelet tipli robot.

III. ROBOTOTEXNİKANIN SƏHİYYƏDƏ TƏTBİQİ

SİT-in məhsulu olan robotlar müasir dövrdə istehsal proseslərindən tutmuş mürəkkəb cərrahi əməliyyatların icrasına qədər geniş bir tətbiq sahəsinə malikdir. İstehsal sahəsində robotlar təkrarlanan, insan həyatı üçün potensial təhlükə riski yaradan, yüksək güc və dəqiqlik tələb edən işləri yerinə yetirərək məhsuldarlığı artırır və istehsal xərclərini azaldır. Mütəmadi inkişaf edən SİT sayəsində robotların tətbiq sahələri və imkanları əhəmiyyətli dərəcədə genişlənir. Robototexnika digər sahələrlə yanaşı tibb sahəsinə də mühüm töhfələr vermişdir.

Tibbdə cərrahi robotlar həkimlərə mürəkkəb əməliyyatları yüksək dəqiqliklə yerinə yetirməyə yardım edir. Cərrahi əməliyyat prosesində cərrah və ya tibb personalının səhv etmə ehtimalı pasiyentin əməliyyatdan sonrakı ağırlaşma riskini artırır. Bu problem insan faktoru ilə yanaşı, texniki çətinliklərlə də əlaqədardır. SİT-in məhsulu olan cərrahi robotlar cərrahiyyənin müxtəlif sahələrində bu problemi aradan qaldırır, infeksiya və ağırlaşma riskini minimuma endirir. Bəzi hallarda bu texnologiya cərrahi müalicənin "qızıl standartı" kimi dəyərləndirilir [9].

Robot sistemləri cərrahlara təkmilləşdirilmiş dəqiqliklə mürəkkəb əməliyyat növlərini yerinə yetirməyə imkan verir. Robot-cərrah əl biləyi və barmaqlarının köməyi ilə xırda və dəqiq hərəkətlər yerinə yetirə bilər. Bu isə cərrahi əməliyyatın yüksək dəqiqliyini təmin edir və əməliyyatdan sonra bərpa müddətini azaldır.

Robot Da Vinci. İki əsas blokdan ibarət olan bu robot cərrahi əməliyyatları həyata keçirir. İlk cərrah-robot Da Vinci Amerikada "Intuitive Surgical" biotexnologiya şirkəti tərəfindən hazırlanmışdır. Cihazın təxminən çəkisi 0,5 tondur. Kütləvi istehsal olunan bu robot dünyanın yüzlərlə klinikasında istifadə olunur. İlk dəfə 2000-ci ildə ABŞ-da, daha sonra 2001-ci ildə Kanadada və bir sıra digər ölkələrdə tibbi praktikada istifadə üçün təsdiq edilmişdir. Da Vinci robotu tərəfindən indiyədək 7,2 milyondan çox cərrahi əməliyyat icra edilmişdir [10].

Da Vinci robotunun birinci bloku cərrah-operator, ikinci blok isə dörd qollu robot manipulyatordur (avtomatik idarəetmə sistemlərinin funksional elementidir). Birinci qol əməliyyat olunan sahənin yüksək keyfiyyətli görüntüsünü

videokamera vasitəsilə ötürür, ikinci və üçüncü qollar real vaxt rejimində cərrahın hərəkətlərini tam dəqiqliklə təkrarlayır, dördüncü qol isə cərrahın köməkçisi funksiyasını yerinə yetirir (Şəkil 2.) [11].



Şəkil 2. Cərrah-robot Da Vinci.

Robot Da Vinci cərrahiyyə təbabətində inqilabi bir nailiyyətdir və mürəkkəb cərrahi müdaxilələri maksimum dəqiqliklə və əhəmiyyətli dərəcədə aşağı xəta riski ilə yerinə yetirir. Dünyanın bir çox ölkələrində uğurla tətbiq olunan Da Vinci cərrahiyyə sistemi 2018-ci ildə Rusiyada ilk uğurlu neyrocərrahi əməliyyatı həyata keçirmişdir [12].

Senhance Robotic. 2016-cı ildə hazırlanmış Senhance sistemi cərrah-operator kabinəsindən, 3-4 qolu olan manipulyatorlardan və siqnailləri birləşdirən qovşaqdan ibarətdir (Şəkil 3.). Qovşaq manipulyator qolundan, cərrah-operator kabinəsindən və endoskopik video kamera sistemindən gələn siqnailləri idarə edir. Senhance əsasən laparoskopik əməliyyatları yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Robot ümumi cərrahiyyə, ginekologiya, urologiya, pediatriya və torakal cərrahiyyə sahələrində uğurla tətbiq olunmuşdur [13].



Şəkil 3. Senhance Robotic robotu.

Ağıllı rəqəmsal sistem vəziyyəti təhlil etmək, cərrahın fəaliyyətini anlamaq, növbəti hərəkəti proqnozlaşdırmaq və dəyişikliklərə avtomatik uyğunlaşmaq kimi üstünlüklərə malikdir. Robot Senhance 2018-ci ildə Qazaxıstanda quraşdırılmış və aparılan laparoskopik cərrahiyyə əməliyyatı uğurla nəticələnmişdir [14].

Son bir neçə ildə ümumi cərrahiyyə əməliyyatları üçün cərrah-robotların istifadəsi sürətlə artmışdır. Cərrahi əməliyyat prosesində robotlar təmassız idarə olunduğu üçün infeksiya

riskinin minimuma enməsi, əməliyyatdan sonra sağalma müddətinin qısalması, kritik cərrahi prosedurların uğurla icra etməsi və ən başlıcası dünyada baş verən bu proseslərin insanlar tərəfindən izlənməsinin mümkünüyü pasiyentlərdə robot-cərrahlara qarşı inam hissi yaratmışdır.

Ümumiləşdirərək, təmassız texnologiyaların və robototexnikanın tibb sahəsinə inteqrasiyasının perspektivlərini aşağıdakı xarakterizə etmək olar [15]:

- Pasiyent və həkim arasında fiziki təmasın azalması;
- Dəqiq və sürətli məlumat bazasının toplanması;
- Ekspert sistemlərdən yararlanma imkanı;
- Pasiyentin məlumat bazasının diaqnostikada rolu;
- Xəstəxana mühitində infeksiyanın riskinin azalması;
- Xəstəliyi uzunmüddətli monitorinqinin mümkünlüyü;
- Tibbi xidmətin keyfiyyətinin yüksəldilməsi;
- Əhali üçün tibbi xidmətin əlçatan olması;
- Səhiyyə sisteminin mütəmadi təkmilləşməsi;
- Müalicə xərclərini azalması;
- Vaxta qənaət edilməsi;
- və s.

Göründüyü kimi, SİT robot cərrahiyyəsi sahəsində dəqiq və mürəkkəb əməliyyatları yerinə yetirmək baxımından daha səmərəli və effektivdir. SİT real vaxt rejimində xəstə məlumatlarını emal edə, tibbi cihazlardan əldə olunan məlumatları təhlil edə və əməliyyat zamanı yarana bilən problemlərə uyğun göstərişlər verə bilər.

IV. SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ TİBBƏ TƏTBİQİNİN PERSPEKTİVLƏRİ

Təmassız idarə olunan texnologiyalar, robototexnika, elektron tibb və teletibb layihələrinin səhiyyə sahəsinə inteqrasiyası tibb sahəsində potensial dəyişikliklərə səbəb olmuş və müasir tibbin qarşısında yeni perspektivlər açmışdır.

Müasir dövrdə teletibb və təmassız texnologiyalar xəstələr ilə həkimlər arasında məsafə baryerini aradan qaldırmışdır. Teletibb mütəxəssislərin uzaq məsafədən əlaqə qurmasına imkan yaradır. Yaşayış məkanı, sosial vəziyyəti, sağlamlıq imkanları və fiziki məhdudiyyətlərindən asılı olmayaraq bütün insanlar müasir tibbi imkanlardan faydalana bilərlər. Başqa sözlə, teletibb daha geniş əhali kütləsi üçün tibbi xidmətlərin əlçatanlığını təmin edir [16].

Teletibb – kompüter, İnternet və digər kommunikasiya texnologiyalarından istifadə etməklə xəstələrə məsafədən tibbi yardımın təmin edilməsidir. Teletibb müalicə-profilaktika müəssisələri, tibbi elmi müəssisələri, mütəxəssisləri vahid kompüter şəbəkəsində birləşdirir. Əlyetərsiz ərazilərdə və ya ağır kliniki vəziyyətlərlə qarşılaşdıqda, həkim Yer kürəsinin hər hansı bir nöqtəsindəki mütəxəssislərlə əlaqə saxlaya bilər. Teletibb iqtisadi baxımdan da çox səmərəlidir – o, yol xərclərini, “təcili yardım” xərclərini, ağırlaşmaların miqdarını, xəstələrin stasionar şəraitdə qalma müddətini azaldır. Müasir teletibbdə “diaqnostik və cərrahi cihazların distant idarəsi” sahəsi davamlı inkişaf edir. Assistent-robotlar cərrahi əməliyyat zamanı həkimlərə yardım edir, pasiyentlərin vəziyyətini izləməyə və onlara tibbi narahatlıqla bağlı xəbər verməyə kömək edir [17].

Təməssiz texnologiyalara nümunə olaraq video kamera vasitəsilə xəstənin vəziyyətinin monitorinqi, məlumatların toplanması, kadrların təhlili və tanıma alqoritmləri vasitəsilə xəstəliklərin daha sürətli və dəqiq diaqnostikası mümkün olmuşdur. SİT vasitəsilə məlumatların təhlili fərdi şəkildə xəstə üçün optimal müalicə proqramının hazırlanması prosesini səmərələşdirmişdir. Sİ-in tətbiqi xəstəliklərin erkən aşkarlanması, risk faktorları və xəstənin tibbi məlumatları əsasında müxtəlif xəstəliklərin inkişaf ehtimalının proqnozlaşdırılması, dəqiq və sürətli diaqnostikası vasitəsilə uğurlu müalicə şansını artırır. Nəticədə, strateji qərarların qəbul edilməsi pasiyentlərin daha effektiv müalicə almasına imkan yaradır.

SİT xəstəxanaların texniki təminatını müasirləşdirməklə yanaşı yeni dərman preparatlarının inkişafı və tədqiqatında da əhəmiyyətli rol oynayır. Mütəxəssislər tərəfindən aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən dərman preparatlarının istifadəsi dayandırılır və ya yeni dərmanların hazırlanması üçün unikal təkliflər irəli sürülür. Maşın təlimi alqoritmlərindən istifadə edərək Sİ milyonlarla birləşməni qısa zaman intervalında yoxlaya və onların xassələrini təhlil edə bilir. Bu yenilik təhlükəsiz və effektiv terapevtik maddələrin yaradılması prosesini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir.

Sİ əczaçılıq sənayesi sahəsinə də inteqrasiya etmiş və öz töhfəsini vermişdir. Müasir tibb hazırda sürətli, səmərəli və kütləvi istehsal tələb edir. Bu isə robot manipulyatorlar vasitəsilə təmin edilə bilər. Hal-hazırda kollaborativ robotlar əczaçılıq sənayesində geniş yayılmaqdadır: SCARA, FANUC, Hanwha, ABB, uFactory, TM Robotics, EPSON, Robotec. Bu istehsalçılar əczaçılıq sahəsində funksionallığı yaxşılaşdırmaq, istehsal prosesində xəta risklərinin qarşısını almaq və məhsuldarlığı artırmaq üçün yüksək texnologiyalı avadanlıqlar istehsal edirlər. SCARA robotları məhsulların çeşidlənməsi və qablaşdırılmasını, FANUC iRVision robotu isə keyfiyyətə nəzarət prosesini avtomatlaşdırmaqla bilir [18].

Robotlar səhiyyənin laboratoriya sahəsinə də tətbiq olunur. Bioloji və ya radioaktiv təhlükə şəraitində işləyən robotlar potensial təhlükəli mühitlərdə istifadə olunur: təhlükəli maddələrin dozasının təyini, təhlükəli maddələrin qarışdırılması və ya analiz aparatlarına ötürülməsi və s. Robotlar dünyanın bir çox ölkələrində klinik laboratoriyalarda uğurla istifadə olunur. Robotun çox əmək tələb edən və yorucu tədqiqatları avtomatlaşdırmaq imkanı vardır. Uzun müddət fasiləsiz işləmək qabiliyyətinə görə, laborantdan dəfələrlə daha sürətli təcrübələr apara bilir [19].

Robot-laborant kimyəvi maddələrin təhlili prosesində yüksək dəqiqliyi, səmərəliliyi və çevikliyi ilə insan laborant amilini üstələyir. O, elmi tədqiqatlara və nəzəri biliklərə əsaslanaraq optimal həlli seçmək imkanına malikdir. Robot-laborant manipulyator-qolundan istifadə edərək reagentləri seçə, onların dozasını təyin edə, reaksiyalara başlaya, laboratoriya alətlərindən istifadə edə və onlarla parametrlər çoxsaylı ölçmələrini həyata keçirə bilir. Robot otaqda obyektlərin dəqiq yerini bilir, müstəqil olaraq optimal hərəkət ardıcılığını planlaşdırır. Ən əhəmiyyətli odur ki, robot insan kimi öz işinin nəticələrini təhlil etməyi bacarır, şablona uyğun hərəkət etmir, vəziyyətə əsasən optimal qərar qəbul edir.

Robotun yaddaşında müxtəlif əməliyyatların yerinə yetirilməsi üçün 98 milyon alqoritm mövcuddur [20].



Şəkil 4. Robot-laborant.

SİT-in tibb sahəsindəki perspektivləri genişdir. Bu perspektivlərdən faydalanmaq üçün hər bir tibbi müəssisənin təyinatına uyğun texniki infrastrukturunun SİT ilə təchizatına ehtiyac yaranır. Lakin bu texnologiyaların istənilən sahədə olduğu kimi tibb sahəsinə də tətbiqi maliyyə resursu tələb edir. Buna görə də tibb sisteminin rəqəmsallaşması və müasir SİT texnologiyaları ilə təmin olunması dövlət tərəfindən qəbul olunmuş plana uyğun həyata keçirilir. Bu prosesin icrası maliyyə resursu ilə yanaşı SİT-i quraşdırma və texniki problemlərinə nəzarət edən mütəxəssis heyəti də tələb edir. Digər əsas məsələlərdən biri də tibb işçilərinin (həkim, tibb bacısı və s.) texnoloji bilik və bacarıqlarının olmasıdır.

V. NƏTİCƏ

SİT müasir səhiyyənin ayrılmaz bir komponentidir. Səhiyyə sisteminin formalaşmasında və təkmilləşdirilməsində SİT-in rolu əvəzedilməzdir.

Hal-hazırda SİT mütəmadi inkişaf mərhələsindədir. İstənilən sahədə olduğu kimi səhiyyədə də müvəffəqiyyətli nəticələr yalnız SİT-in səmərəli istifadəsi ilə müşayiət olunur. SİT bütövlükdə insanların həyatını əhatə edir və istisnasız olaraq insan fəaliyyətinin bütün sahələrində aparıcı rol oynayır. İnsan həyat tərzini texnologiyasız təsəvvür edilmir. İnsan ilə texnologiya arasında sıx bir əlaqə formalaşmışdır.

SİT-nin tibb sahəsində tətbiqi müasir sağlamlıq xidmətlərinin inkişafında mühüm rol oynayır. Bu texnologiyalar xəstəliklərin diaqnostikası, müalicəsi və profilaktikasının daha effektiv və təhlükəsiz şəkildə həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Nəticə olaraq qeyd edilməlidir ki, təməssiz texnologiyalar eyni zamanda xəstə-həkim münasibətlərini də transformasiya edərək teletibbin inkişafına zəmin yaradır. Bu, pasiyentlərin müalicə prosesində aktiv iştirakını təşviq edir və onların sağlamlıqla bağlı qərar qəbul etmə kompetensiyasını gücləndirir.

Mütəmadi inkişaf edən SİT -in tibbə tətbiqi daha da inkişaf edərək süni intellekt və böyük həcmli məlumatların (big data) analitikası ilə inteqrasiya olunmaqla fərdi müalicə yanaşmalarını daha dəqiq və effektiv edir. Ümumilikdə, SİT-in səhiyyə sahəsinə verdiyi töhvə sağlamlıq xidmətlərinin keyfiyyətini yüksəltməklə yanaşı, maliyyə xərclərinin

optimallaşdırılmasına da imkan yaradır. SİT sahəsində aparılan davamlı tədqiqatlar və inkişaf tibb sahəsində daha innovativ həllərin meydana gəlməsini proqnozlaşdırmağa əsas verir.

İSTİNADLAR

- [1] Т. Дергачёва, “Стратегическое развитие и цифровые технологии в здравоохранении Республики Узбекистан”, //Научные исследования и инновации в индустрии 4.0., 2022.,Т. 1, №. 1, с. 101-113.
- [2] С. В. Долгих, А. А. Кирсанова, Д. В. Ковлен, Г. Р. Абусева, В. В. Иващев, С. Н. Остапенко and А. В. Гусева, “Современные технологии медицинской реабилитации пациентов травматологического профиля в санаторно-курортной организации Минобороны”, //Военно-медицинский журнал, 2021, Т. 342, №. 4, с. 11-17.
- [3] С. Н. Саяпин, В. С. Соловьев, Л. А. Степанова, Т. В. Ерохина, “Проблемы машиностроения и автоматизации”, //Проблемы машиностроения и автоматизации, 2012, № 3, с. 142-147.
- [4] Е. А. Бибикова, “Внедрение робототехники в медицину”, //Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции менеджмент в здравоохранении: вызовы и риски XXI века, 16–17 ноября 2023 г, с. 61.
- [5] Ю. И. Растова, М. А. Растов, “Инструменты управления устойчивым развитием организации”, //Устойчивое развитие (ESG): финансы, экономика, управление: материалы V Нацио, 2024. с. 81
- [6] А. А. Гаранин, И. Д. Шипунов, А. О. Рубаненко, and Н. О. Санникова, “Бесконтактные методы измерения частоты дыхания: (обзор литературы)”, //Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание, 2023, Т. 17, №. 5, с. 64-72.
- [7] И. А. Кагиров, А. А. Карпов,, И. С. Кипяткова, К. С. Ключев, А. И. Кудрявцев, И. А. Кудрявцев and Д. А. Рюмин, “Интеллектуальный интерфейс для управления роботизированным медицинским экзоскелетом нижних конечностей Remotion”, //Авиакосмическая и экологическая медицина, 2019, Т. 53, №. 5, с. 92-98.
- [8] Н. Н. Карякин, А. Н. Белова, В. О. Сушин, Г. Е. Шейко, Ю. А. Израелян and Н. Ю. Литвинова, “Потенциальные преимущества и ограничения использования, роботизированных экзоскелетов у пациентов, перенесших позвоночно-спинномозговую травму: состояние вопроса”, //Вестник восстановительной медицины, 2020, №. 2 (96), с. 68-78
- [9] Д. Ю. Пушкарь, А. В. Говоров, К. Б. Колонтарев, “Роботассистированная хирургия”, Вестник Российской академии наук, 2019, Т.89, №.5, с. 466-469. <https://doi.org/10.31857/s0869-5873895466-469>, (дата обращения: 10.04.2025).
- [10] И. В. Козловская, Ю. А. Захаров, Т. В. Истомина, “Роботизированные системы в медицине”, //Современные нейрокибернетические технологии в реабилитации и развитии когнитивных способностей человека, 2022, с. 99-103.
- [11] F. Celotto, N. Ramacciotti, A. Mangano, G. Danieli, F. Pinto, P. Lopez, and F. Bianco, “Da Vinci single-port robotic system current application and future perspective in general surgery: A scoping review”, //Surgical Endoscopy, 2024, Т.38, №.9, с. 4814-4830.
- [12] Н. В. Каурдаков, “Уникальный роботизированный хирургический комплекс «Da Vinci» и его применение в клиниках России”, // Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции актуальные проблемы современной медицины и фармации, БГМУ Минск, 19– 20 апреля 2023 г, с. 834.
- [13] А. А. Андреев, А. А. Глухов, А. П. Остроушко, А. Ю. Лаптиёва, Д. А. Боков, Н. О. Михайлов, and П. А. Коновалов, “Автоматизированные и роботизированные системы в хирургической практике”, //Наука и инновации в медицине, 2024, Т.9, №.3, с. 231-236.
- [14] Б. Г. Касымов “Прогнозный анализ перспектив роботизированной хирургии в мире и тенденции развития в казахстане”, //Наука и современные образовательные технологии, 2022, с. 6-13.
- [15] A. Boiko, N. Martínez Madrid, R. Seepold, “Contactless technologies, sensors, and systems for cardiac and respiratory measurement during sleep: a systematic review”, //Sensors, 2023, Т.23, №.11, с. 5038.
- [16] С. С. Халлыева, М. Т.Ашырова, М. К. Данатарова,М. Ш. Гурбанова, and А. О. Чопанова, “Технологические аспекты телемедицины”, //Символ науки, 2024, с. 153.
- [17] М. Мəmmədova, Z. Cəbrayılova. “Elektron tibb: formalaşması və elmi-nəzəri problemləri”, Bakı: “İnformasiya Texnologiyaları” nəşriyyatı, 2019, s. 350.
- [18] Ж. Ж. Туруспаева, “Применение роботов-манипуляторов в фармацевтической промышленности”, //Молодая фармация - потенциал будущего: Сборник материалов XII всероссийской научной конференции студентов и аспирантов с международным участием, "СПГХФУ" Министерства здравоохранения Российской Федерации, 14–18 марта 2022, с. 886-890.
- [19] M. N. Hasnine, B. M.I ndurkhya, M. H. Ahmed, “Socially assistive robot as laboratory safety assistant for science students”, //International Conference on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO) IEEE, 2024, с. 37-42.
- [20] А. Мартыненко, “Автономный робот-ученый проводит эксперименты без помощи человека”, 2020, <https://www.techcult.ru/robots/8509-robot-uchenyj-provodit-eksperimenty-bez-pomoshi-cheloveka>, (дата обращения: 02.04.2025).

Azərbaycanda Tibbdə Süni İntellekt Texnologiyalarının Tətbiqi Tarixi

Aytən Nəbiyeva

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

aytenrn95@gmail.com

Xülasə — Son illərdə bütün sahələrdə olduğu kimi, səhiyyədə də rəqəmsallaşma istiqamətində müəyyən işlər görülmüş, mühüm elmi nəticələr əldə edilmişdir. Tibbin rəqəmsallaşması üzrə tədqiqatların aparılması XX əsrin sonlarından başlamışdır. Məqalədə Azərbaycanda süni intellektin səhiyyə sistemində tətbiqinin əhəmiyyəti göstərilir, süni intellektin tibbdə tətbiqinə dair tədqiqatlar və elmi-nəzəri nəticələrinin cəmiyyətə verdiyi töhfələrdən bəhs edilir. Ölkəmizdə keçən əsrin 90-cı illəri və XXI əsrin əvvəllərində süni intellektin tibbdə tətbiqi ilə bağlı görülmüş işlər, yaradılmış tibbi ekspert sistemləri, onların metodoloji bazasını əks etdirən dissertasiya işləri, hazırda Azərbaycanda rəqəmsal tibbin inkişafı istiqamətində aparılan tədqiqatlar haqqında məlumat verilmişdir.

Açar sözlər— *süni intellekt, səhiyyədə süni intellektin tətbiqi, tibbdə süni intellektin tarixi, tibbi ekspert sistemləri*

I. GİRİŞ

İnsan zəkasını təqlid edən və insan məntiqinin məhsullarında tətbiq etdirilməsi məqsədi daşıyan süni intellektin meydana gəlməsi ötən əsrin 40-cı illərindən sonra, kompüter texnologiyalarının meydana gəlməsi ilə baş vermişdir. Süni intellekt son zamanlar cəmiyyətin həyatına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edərək yeni reallıqların yaranmasına səbəb olmuşdur. Süni intellektin zaman və məkandan asılı olmayaraq fəaliyyət göstərməsi, müxtəlif mənbələrdən böyük həcmli məlumatlar toplaması, təhlil etməsi, yeni biliklər əldə etməsi, proqnozlar verməsi və s. kimi çox müxtəlif və geniş imkanları vardır. Bu imkanlar bu gün insanların müxtəlif fəaliyyət istiqamətlərinə təsir göstərməkdədir [1].

Hazırda dünyada və ölkəmizdə süni intellektin aviasiya, təhsil, səhiyyə, maliyyə, ağır sənaye və s. çoxsaylı və müxtəlif tətbiq sahələri mövcuddur. Ölkəmizdə süni intellektin geniş tətbiq istiqamətlərindən biri də səhiyyədir. Süni intellektin tibbdə tətbiqi bu sahənin inkişafı üçün yeni imkanlar açmış, müalicə və diaqnostika metodlarının dəyişdirilməsinə, insanların yüksəkkeyfiyyətli tibbi xidmətlərlə təmin olunmasına gətirib çıxartmışdır. Müasir dövrdə informasiya texnologiyalarının bir çox fəaliyyət sahələrinə, o cümlədən tibbdə tətbiqi mühüm elmi nailiyyətlərin əldə olunmasına səbəb olmuşdur. Süni intellektin köməyi ilə erkən və dəqiq diaqnostikanın aparılması, bunun nəticəsində düzgün müalicə metodunun seçilməsi mümkün olmuşdur. Azərbaycanda informasiya texnologiyalarının tibbdə tətbiqi səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini xeyli artırır. Vətəndaşlar keyfiyyətli və yüksək sürətli tibbi xidmətlərlə təmin olunur. Bu istiqamətdə səhiyyənin informasiyalaşdırılması zərurəti kəskinləşir [2].

İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) sürətlə inkişaf etdiyi hazırkı dövrdə istənilən ölkədə səhiyyədə fəaliyyət bu texnologiyalara söykənir. Hazırda İKT-nin tibb sahəsinə integrasiyasının vacibliyi də açıq-aşkar hiss edilməkdədir. Vətəndaşların yüksəkkeyfiyyətli, etibarlı, sürətli, əlçatan tibbi xidmətlərlə təmin olunma istəyi, mövcud tibbi xidmətlərin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına olan tələbat səhiyyənin kompleks şəkildə informasiyalaşdırılmasına gətirib çıxarır [3].

Azərbaycanda süni intellektin səhiyyəyə tətbiq olunmasında əvəzsiz xidmətləri olan, bu istiqamətdə tədqiqatlar apararaq elmə mühüm töhfələr vermiş elm adamlarını qeyd etmək olar. Aparılan araşdırmalar nəticəsində alimlər bir çox xəstəliklərin erkən mərhələdə aşkarlanması, tibbi xidmətlərin keyfiyyətinin artırılması istiqamətində mühüm nailiyyətlər əldə etmişdirlər. Məqalədə müxtəlif dövrlərdə Azərbaycan alimlərinin süni intellektin tibbdə tətbiqinə dair apardıqları tədqiqatlar və əldə etdikləri mühüm nəticələr haqqında məlumat verilmişdir.

II. XX ƏSRİN 90-CI İLLƏRİNDƏ AZƏRBAYCANDA SÜNI INTELEKTİN TİBBDƏ TƏTBİQİ

Ötən əsrin sonlarından süni intellektin səhiyyədə tətbiq edilməsi istiqamətində alimlərimiz bir sıra uğurlara imza atmışdılar. Azərbaycanda kibernetika, informatika və kompüter elmlərinin inkişafında əvəzsiz rolu olan alim, akademik Telman Əliyevin bu istiqamətdə rolu əvəzsizdir. Akademik T. Əliyevin rəhbərliyi ilə ilk dəfə 1984-cü ildə elektrokardiografiyanın sıxılması, bərpa etməklə açılması və istənilən məsafəyə teleqraf kanalı ilə ötürülməsinin təşkili üçün texnologiya yaradılmışdır. Həmçinin, akademik rəhbərliyi ilə aparılan digər tədqiqatlar smartfonların və noutbukların vasitəsi ilə ürəyin vəziyyətinə gündəlik nəzarət üçün onun səsinin küyünün Noise analizi texnologiyaları işlənmişdir [4].

Bu qəbildən olan tədqiqatlardan biri də ürək-damar xəstəliklərinin başlanğıcının gizli dövrünün monitorinqi sisteminin ölkədə yaradılması olmuşdur. İlk dəfə olaraq Azərbaycanda yaradılan radiologiya üzrə süni intellektin tətbiqinin ilk nümunələrindən olan bu sistem mobil telefondan istifadə etməklə sahibini kardioloji cəhətdən müayinə etməyə imkan vermişdir. Sistem dünyanın bir çox ölkələrində böyük marağa səbəb olmuşdur [5].

1980–1990-cı illərdə AMEA-nın müxbir üzvü, professor Rafiq Əliyevin rəhbərlik etdiyi tədqiqatlarda süni intellektin səhiyyə sahəsində tətbiqinə dair mühüm nəticələr əldə edilmişdir. O, müxtəlif diaqnostik sistemlərin yaradılması və

süni intellekt əsaslı qərarvermə alqoritmlərinin inkişaf etdirilməsi istiqamətində elmə mühüm töhfələr vermişdir. Bu tədqiqatlar tibbi qərarların dəqiqliyini artıraraq səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini yüksəltməyə yönəlmişdir. Professorun rəhbərliyi ilə ekspert sistemlərinin generasiyası üçün ESPLAN ekspert sistem örtüyü yaradılmışdır. Bu ekspert sistem örtüyü neft emalı, neft-kimya sənayesi, neft quyularının qazılması prosesləri, konfliktologiya, təhsil sahələri ilə yanaşı tibbdə də tətbiq olunmuşdur. [6].

Ölkədə süni intellektin tibbdə tətbiqi istiqamətində aparılan tədqiqatlar fundamental elmi-nəzəri nəticələrin alınması ilə müşayiət olunurdu. Bunun nəticəsidir ki, bu dövrdə çoxsaylı dissertasiya işləri yazıldı, müdafiə olundu. Belə işlərdən biri də 1987-ci ildə “Diaqnostik tibbi sistemlərin qurulmasında məntiqi-lingvistik metodların tətbiqi” mövzusunda müdafiə edilmiş dissertasiya işidir. Aparılan tədqiqatın nəticəsi olaraq süni intellekt metodologiyasına əsaslanan orijinal ekspert sistemi hazırlanmışdır [7].

Ölkədə bu istiqamətdə 1996-cı ildə “Qarın boşluğu nəhiyyəsi cərrahi xəstəliklərinin diaqnostikası üçün ekspert sistemi” mövzusunda dissertasiya işi müdafiə edilmişdir. Bu tədqiqat işinin nəticəsi olaraq qarın boşluğunun kəskin cərrahi xəstəliklərinin diaqnostikasını dəstəkləmək üçün ekspert sistemi işlənmişdir [8].

III. XXI ƏSRİN ƏVVƏLLƏRİNDƏ AZƏRBAYCANDA SÜNI INTELEKTİN TİBDƏ TƏTBİQİ

2000-ci ildə qarın boşluğu üzvlərinin kəskin cərrahi xəstəliklərinin diaqnostikasında buraxılan səhvlər nəzərə alınaraq daha keyfiyyətli, eləcə də sürətli diaqnostik imkanlara malik ekspert sistemi yaradılmışdır. Xüsusilə də, bu sistemdə xəstələrlə bağlı səhv qərar qəbul edilməsinə səbəb olan, yəni onlar haqqında əldə edilmiş yetərsiz tibbi məlumatların təkmilləşdirilməsinə say göstərilmişdir [9].

XXI əsrdən etibarən süni intellektin tibbdə tətbiqinə dair aparılan tədqiqatlar geniş vüsət almağa başlamışdır. Bu istiqamətdə 2001-ci ildə riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent Gülçin Abdullayevanın rəhbərliyi ilə “Çoxsahəli stasionarda xəstələrin ilkin diaqnostikasını və yerləşdirilməsini icra edən intellektual sistem” adlı məqalə dərc edilmişdir. Məqalədə süni intellektin köməyi ilə ilkin diaqnostikamı həyata keçirən və xəstələri müvafiq bölmələrə aid edən intellektual sistemin yaradılmasından bəhs olunmuşdur. Bu sistem 1 saylı Şəhər Klinik Xəstəxanasının qəbul şöbəsi üçün işlənmişdir 2003-cü ildə isə G.Abdullayevanın rəhbərliyi ilə çətin diaqnoz olunan qalxanvari vəzin diaqnostikasını həyata keçirən ekspert sistemi işlənmişdir. Onun “Qalxanvari vəzin funksional vəziyyətini araşdıran ekspert sistemi” adlı məqaləsində çətin diaqnoz olunan qalxanvari vəzin diaqnostikasını həyata keçirən ekspert sistemi təqdim edilmişdir [10].

Tədqiqatçının rəhbərliyi ilə erkən diaqnoz üçün informasiya texnologiyalarına əsaslanan yanaşma, qapalı törəmələrin tanınma və identifikasiya sistemi işlənmişdir. O, həmçinin xroniki osteomielitin müalicəsində cərrahi müdaxilənin növünün seçilməsində, eləcə də dəm qazı ilə

zəhərlənmənin monitorinq və diaqnostikasında, zəhərlənmədən sonra xəstələrin differensial diaqnostikası və monitorinqində, təcili terapiyada intellektual sistemlərin işlənməsində iştirak etmişdir. G. Abdullayeva qarın cərrahiyyəsində intellektual sistemin inkişafı, zootoksinlərlə zəhərlənmələrdə diaqnostika və müalicə alqoritmləri, peritonitli xəstələrdə xəstəliyin ağırlıq dərəcəsinin qiymətləndirilməsi, süd vəzi xərçənginin diaqnostikasında ekspert sistemlərinin istifadəsi ilə bağlı tədqiqatlar aparmışdır. Bununla yanaşı, onun rəhbərliyi ilə “Ümid” tibbi ekspert sistemi, “Cərrahiyyə” diaqnostik ekspert sistemi işlənmişdir [11].

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqat işlərinin davamı olaraq 2004-cü ildə süd vəzi şişlərinin informasiya-diaqnostik sistemi işlənmişdir. Bu sistemin işlənməsi süd vəzi şişlərinin erkən diaqnostikasının və müalicəsinin aparılmasına yönəlmişdir. İnformasiya-diaqnostik sistemi həkimlərə müxtəlif tibbi məlumatları toplamağa, təhlil etməyə, dəqiq diaqnoz qoymağa və xəstələrin vəziyyətini qiymətləndirməyə imkan vermişdir. Bu sistemin işlənilməsi zamanı süd vəzi şişlərinin diaqnozu üçün nəzərdə tutulmuş kompüter sisteminin araşdırılması, ilkin verilənlərin toplanması, saxlanması və emalı, müvafiq kompüter proqramlarının işlənməsi və s. məsələlər həll edilmişdir [12].

Süni intellektin tibbdə tətbiqi istiqamətində aparılan araşdırmalar davam etdirilmiş, 2005-ci ildə ortopediyada cərrahi müdaxilə seçiminin intellektual sistemi işlənmişdir. Bu sistem vasitəsilə ilk dəfə olaraq fotorobot vasitəsilə patologiya mənbəyinin süni görüntüsü yaradılmışdır. Bu görüntülər patoloji mənbənin xüsusiyyətlərini öyrənir, onları tanıyır, aparılacaq cərrahi müdaxilələrin ardıcılığını və nəticələrini vizuallaşdırır. Bu sxemin əsasında bilik bazası və onda situasiyaların avtomatik tanınması, eləcə də müalicə üsullarının vizual göstərilməsi üçün ekspert sistemi yaradılmışdır [13].

AMEA-nın müxbir üzvü, professor Sabit Kərimovun da elmi tədqiqatlarının əsas istiqamətini informasiya və ekspert sistemlərinin yaradılması və tətbiqi təşkil etmişdir. Alimin rəhbərliyi və bilavasitə iştirakı ilə 1990-2009-cu illərdə elmin və istehsalatın müxtəlif sahələri üzrə elmi-tədqiqat işləri aparılmış, həmçinin tibbi diaqnostika üzrə ekspert sistemləri yaradılmışdır.

Professor S.Kərimov bu illər ərzində tibbi diaqnostika üzrə ekspert sistemlərinin yaradılması ilə məşğul olaraq çoxsaylı tədqiqatlar aparmışdır [14]. Azərbaycanda tibb sahəsi üzrə mədəaltı vəzin xəstəlikləri və oftalmoloji xəstəliklərin diaqnostikası, həmçinin cərrahi xəstəliklərin diaqnostikası üzrə ekspert sistemlərinin yaradılması S. Kərimovun rəhbərliyi altında həyata keçirilmişdir [15].

2004-cü ildə S.Kərimov “Ekspert sistemi” adlı monoqrafiya dərc etdirmişdir [16]. Monoqrafiyada ekspert sistemlərin yaradılması metodologiyası, biliklərin təsvir modelləri və onların əsasında ekspert-mütəxəssisin biliklərinin transformasiyası mexanizmləri, ekspert sistemlərin üstün və çatışmayan cəhətləri ətrafı təqdim edilmiş, oftalmologiya sahəsi üzrə ambulator xəstələrin ilkin diaqnostikası məqsədilə

yaradılmış ekspert sistemin yaradılması prinsipləri və istismarının nəticələri şərh edilmişdir. Ambulator xəstələrin ilkin diaqnostikasında qarşıya çıxan problemlərin həllinə yönəlmiş virtual oftalmoloq ekspert sisteminin işlənilməsi nəticəsində əhalini uyğun xəstəliklər haqqında məlumatlandırmaq, maarifləndirmək üçün əhaliyə xidmət bölməsi yaradılmışdır. Bu məqsədlə yaradılmış ekspert sistemi Bakı 1 sayılı Şəhər Klinik Xəstəxanasının VI göz xəstəlikləri şöbəsində tətbiq edilmişdir [17].

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatların davamı olaraq 2016-cı ildə nevroloji xəstəliklərin diaqnostikası üzrə ekspert sistemi işlənmişdir. Aparılan araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, nevroloji xəstəliklərin diaqnostikası üzrə ekspert sisteminin yaradılması üçün işlənmiş metod və alqoritmlər tibbin digər sahələrində xəstəliklərin vaxtında və dəqiq diaqnozu üçün ekspert sistemlərinin yaradılması məqsədilə istifadə oluna bilər. Alınmış nəticələr nevroloji xəstəliklərin dəqiq diaqnostikasında təklif edilmiş metod və alqoritmlərin rolunun əhəmiyyətli olduğunu göstərmişdir [18].

AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor Məsumə Məmmədovanın Azərbaycanda süni intellektin tibdə tətbiqinə verdiyi töhfələr əvəzsizdir. Alimin rəhbərliyi ilə rəqəmsal tibb mühitində qərar qəbulətməni dəstəkləyən model və metodlar işlənmiş, əhalinin müxtəlif kateqoriyaları, eləcə də yüksək riskli obyektlərdə çalışan işçilərin sağlamlıq vəziyyətinin məsafədən və fasiləsiz monitorinqinin elmi-nəzəri problemləri, tibbi xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması istiqamətində qərarların qəbulunda ictimai rəyin nəzərə alınması üçün tibbi sosial media resurslarında toplanan informasiyadan istifadə imkanları araşdırılmış, vahid integrasiya olunmuş tibbi informasiya fəzası ekosisteminin formalaşması məsələlərinin həlli ilə bağlı tədqiqatlar uğurla yerinə yetirilmişdir və hal-hazırda da müvafiq istiqamətlər üzrə tədqiqatlar davam etdirilir [19-21].

Professor Məsumə Məmmədovanın rəhbərliyi ilə hepatosellular karsinomanın (HSK) mərhələlərinin təyini ilə bağlı həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən ekspert sistemi işlənmişdir [22].

Yaradılmış sistem HSK-nın müayinə verilənləri əsasında onun hansı mərhələdə olması ilə bağlı zaman və məkandan asılı olmayaraq çoxlu sayda həkim-istifadəçilərə diaqnostik qərarların qəbulunda dəstək göstərir, elmi əsaslandırılmış qərar qəbulu prosesinin operativliyini və çevikliyini, həkim səhvlərinin qarşısının alınmasına təmin edir

HSK-nın diaqnostikası ekspert sistemi aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- sistemin bilik bazasında biliyin daima aktual vəziyyətdə saxlanması və onun (biliyin) təcrübəli həkim-mütəxəssislərin təqaüdə getməsi, xəstələnməsi, vaxt məhdudiyyəti, gənc həkimlərin təcrübəsizliyi səbəblərindən “itməsi” və azlığı kimi problemlər fonunda daima əlyetər və adekvat olması;
- sistemin və müvafiq biliyin nüsxələnməsi imkanının olması;

- qərarların qəbulunu dəstəkləyən ekspert sisteminin işlənilməsi üçün təklif edilən metodikanın digər xəstəliklər üçün adaptasiyası imkanı;
- istifadəçi üçün qərarın emal edilməsi ardıcılığını izləmək və əsaslandırmaq imkanının mümkünlüyü, sistemin təlim xüsusiyyətinə malik olması;
- yaranmış vəziyyətə reaksiya verilməsi vaxtının azalması, qərarın dəqiqliyi baxımından ekspert sistemin rəqəbat üstünlüyü;
- vaxt, məkan və istifadəçi sayı məhdudiyyəti olmadan Internet üzərindən sistemə əlyetərlik;
- rahat istifadəçi interfeysi.

HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin sadalanan imkan və üstünlükləri onun onlayn mühitdə həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən instrumental vasitə kimi istifadəsinin çox əhəmiyyətli olduğunu təsdiqləyir və sistem Azərbaycan Tibb Universitetinin I Cərrahi xəstəliklər kafedrasının həkim-mütəxəssislərinin istifadəsi üçün klinikanın saytında yerləşdirilmişdir.

Professor M.Məmmədovanın rəhbərliyi ilə aparılan digər tədqiqatlar çərçivəsində HSK-nın proqnozlaşdırılması üçün maşın təlimi metodlarının tətbiqi imkanları araşdırılmış, əldə olunan nəticələrdən çıxış edərək müvafiq milli bazanın formalaşdırılması metodikası, tibdə rəqəmsal əkiz texnologiyalarının tətbiqi istiqamətində pasiyentmərkəzli tibbi rəqəmsal əkinin ontoloji modeli təklif edilmişdir [23, 24].

NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqatın nəticələri göstərir ki, Azərbaycanda süni intellektdən bütün sahələrdə olduğu kimi səhiyyə sahəsində də geniş istifadə olunmuşdur. Məqalədə qeyd olunan tədqiqat işləri və onların nəticələri süni intellektin Azərbaycanda səhiyyəyə integrasiyasında mühüm mərhələləri əhatə edir. Məlumdur ki, düzgün müalicə üsulunun seçilməsi vaxtında və dəqiq diaqnoz qoyulması ilə başlayır. Səhiyyədə bu məqsədlə süni intellekt texnologiyalarından istifadə xəstəliklərin erkən diaqnozuna, vaxtında və effektiv müalicə prosedurunun başlanmasına, xəstələrə daha yaxşı xidmət göstərilməsinə, düzgün qərarların qəbul edilməsinə və s. kömək edir. Bu texnologiyaların mənimsənilməsi və tətbiqi müvafiq sahə üzrə mütəxəssislərin hazırlanmasına gətirib çıxarmışdır. Ölkəmizdə bu məqsədlə alimlərimiz tərəfindən çoxaspektli araşdırmalar aparılmış, müxtəlif nailiyyətlər əldə olunmuşdur. Alimlərin bu istiqamətdə apardıqları tədqiqatlar və onların rəhbərliyi ilə yaradılan ekspert sistemləri tibb sahəsində daha dəqiq və effektiv qərar qəbulətmə proseslərinin həyata keçirilməsinə imkan yaratmışdır. Gələcəkdə isə süni intellektin tibdə tətbiqinin səhiyyə xidmətlərini insanlar üçün daha əlçatan edəcəyi, müayinə və müalicə proseslərini asanlaşdıracağı güman edilir.

ƏDƏBİYYAT

- [1] R. Əliquliyev, “Süni intellekt xəyalların gerçəkləşməsidir”. Xalq qəzeti, 8 oktyabr 2023.
- [2] M. Məmmədova, Z. Cəbraylova, “Elektron tibb: formalaşması və elmi-nəzəri problemləri”, Bakı, 2019, s.18-20.
- [3] R. Əliquliyev, M. Məmmədova, “Elektron tibb: mahiyyəti, imkanları, problemləri”, “Elektron tibbin multidissiplinar problemləri” I respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, 24 may 2016, s. 10-11.
- [4] AMEA-nın həqiqi üzvü, texnika elmləri doktoru, professor Telman Əliyevin əsas elmi nəticələri, <https://telmanaliyev.az/az/content/9>.
- [5] Ürək-damar xəstəliklərinin gizli dövrü mobil telefonla aşkarlanacaq, Ürək-damar xəstəliklərinin gizli dövrü mobil telefonla aşkarlanacaq, Lent.az, 21 iyun 2011.
- [6] AMEA-nın müxbir üzvü Rafiq Əliyev haqqında, <https://science.gov.az/az/forms/chlenyikorrepondentyi/79>
- [7] Z. Raxmanova, “Информатизация должна стать неотъемлимой частью инфраструктуры учреждения”, <https://cyberleninka.ru/article/n/informatizatsiya-dolzha-stat-neotemlemoy-chastyu-infrastruktury-meditsinskogo-uchrezhdeniya/viewer>.
- [8] M. Məmmədova, Z.Cəbraylova, “Tibbi ekspert sistemləri: imkanları, tətbiq istiqamətləri, Azərbaycanda mövcud vəziyyət” “Elektron tibbin multidissiplinar problemləri” I respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, 24 may 2016. s. 138-142.
- [9] A. Ə. Qeybullayev, N. Ə. Rəhimova, C. B. Həbibullayev, Qarın boşluğu uzvlərinin kəskin cərrahi xəstəliklərinin diaqnostik ekspert sistemlərinin yaradılması və tətbiqi. Bakı, Elm, 2000, 173 s.
- [10] S. Şükürlü, “Virtual oftalmoloq ekspert sistemi”, Bakı,2012, S. 27.
- [11] G. Abdullayeva, ELMI MƏQALƏLƏRİ, Gülçin Abdullayeva/Bibliografiya/Elmi məqalələri — Vikikitab.
- [12] Q. Abdullayeva, “Süd vəzi şişlərinin informasiya-diaqnostik sisteminin işlənməsi”, tex.elm.nam. diss.avtoref. Bakı, 2004, s.20.
- [13] Z. Hacıyev, “Ortopediya cərrahi müdaxilə seçiminin intellektual sistemi”, tex.elm.nam.dis. avtoref. Bakı, 2005, s.20.
- [14] Sabit Kərimovun elmi fəaliyyəti haqqında, Sabit Kərimov — Vikipediya.
- [15] N. Cəfərov, G. Kərimova, “Mənalı həyat yolu”, Bakı, 2016, s.57.
- [16] S. Kərimov, N. Rəhimova, “Ekspert sistemi”, Bakı, Çəşioğlu, 2004, s. 173.
- [17] S. Şükürlü, “Virtual oftalmoloq ekspert sistemi”, Bakı, 2012. s.138-139.
- [18] A. Amooji, Nevroloji xəstəliklərin diaqnostikası üzrə ekspert sistemlərin qurulması: ekspert sistemi: tex.elm.nam....dis. avtoref. Bakı, 2016, s.5.
- [19] M. Məmmədova, Z. Cəbraylova. Elektron tibb: formalaşması və elmi-nəzəri problemləri Bakı: “İnformasiya Texnologiyaları” nəşriyyatı, 2019, 350 səh. <https://ict.az/uploads/docs/KITAB-e-tibb-350-Cap-Fin-Son-Sayt.pdf>
- [20] M. Məmmədova, Əsas elmi nəticələr, <https://ict.az/az/content/40>.
- [21] M. Məmmədova, Bibliografik göstərici, Bakı, 2022, s.92-97.
- [22] M. Məmmədova, N. Bayramov, Z. Cəbraylova, M. Manafli, “Hepatosellulyar karsinomanın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının dəstəklənməsi sistemi”, “Azərbaycan Tibb Jurnalı”, 2024, №4, s.163-169M.
- [23] Mammadova, N. Bayramov, Z. Jabraylova, L. Karayeva, M. Huseynova, “Solving the Prognostic Problem of Hepatocellular Carcinoma Using Machine Learning Algorithms in a National Database “The International Conference on Artificial Intelligence and Digital Development: Current Realities and Future Perspectives”, 17 July, 2024, p.13.
- [24] M. H. Mammadova, A.A. Ahmadova. Development of digital twin ecosystem and ontology in medicine, Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions. - Tallinn, 2023. - P. 21-23.

Cəmiyyət 5.0 Çərçivəsində Rəqəmsal Transformasiyanın İnküziv İnkişafa Təsiri

Nəzrin Rzayeva

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
rzayevanezrin6@gmail.com

Xülasə—Məqalədə Cəmiyyət 5.0 konsepsiyası kontekstində inküziv cəmiyyətin formalaşmasında rəqəmsal transformasiyanın rolu araşdırılır. Xüsusi diqqət süni intellekt, əşyaların interneti, böyük verilənlər və robototexnika kimi əsas texnologiyaların təhsilə, səhiyyəyə, əmək fəaliyyətinə və sosial integrasiyaya bərabər çıxış imkanlarının təmin olunmasındakı potensialına yönəldilir. Sosial maneələrin aradan qaldırılmasında rəqəmsal həllərin —fərdiləşdirilmiş təhsil platformalarının, ağıllı şəhər sistemlərinin, sağlamlıq monitorinqi sistemlərinin və yardımçı robototexniki qurğuların—rolu təhlil edilir. Rəqəmsal bərabərsizliyin qarşısını almaq üçün inküziv rəqəmsal infrastrukturun inkişaf etdirilməsinin və əhalinin rəqəmsal savadlılığının artırılmasının vacibliyi ayrıca vurğulanır. Nəticədə qeyd olunur ki, Cəmiyyət 5.0 çərçivəsində rəqəmsal transformasiya bütün fiziki, sosial və iqtisadi xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq, cəmiyyətin bütün üzvləri üçün daha ədalətli və əlçatan gələcəyə yol açır.

Açar sözlər—Cəmiyyət 5.0, rəqəmsal transformasiya, inküzivlik, süni intellekt, əşyaların interneti, böyük verilənlər, robototexnika, bərabər imkanlar

I. GİRİŞ

Müasir dünya cəmiyyətin bütün sahələrinə güclü təsir göstərən texnologiyaların sürətli inkişafını yaşayır. “Cəmiyyət 5.0” anlayışı bu fonda gələcəyə baxışı təmsil edir. Burada texnologiya təkcə iqtisadi inkişaf üçün alət deyil, həm də vacib sosial problemlərin həlli vasitəsidir. Cəmiyyət 5.0 kibər və fiziki məkanın birləşdirilməsini, insanları və onların ehtiyaclarını diqqət mərkəzində yerləşdirməyi nəzərdə tutur[1]. Bu baxımdan, inküzivlik məsələsi, yəni xarakterindən və mənşəyindən asılı olmayaraq hər kəsin həyatın bütün sferalarında iştirak etmək üçün bərabər imkanlara malik olduğu cəmiyyətin yaradılması üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu isə ədalətli və davamlı cəmiyyət qurmaq üçün yeni yanaşmaların axtarılmasını tələb edir.

“Cəmiyyət 5.0” konsepsiyası ilk dəfə 2016-cı ildə Yaponiyanın hökuməti tərəfindən elmi və texnoloji innovasiyaların beşinci əsas strategiyası çərçivəsində irəli sürülmüşdür. Bu konsepsiya cəmiyyətin inkişafının yeni mərhələsini təmsil edir və əvvəlki mərhələlər — aqrar (1.0), sənaye (2.0), informasiya (3.0) və rəqəmsal (4.0) mərhələlərin sintezini və transformasiyasını əks etdirir.

“Cəmiyyət 5.0” Sənaye 4.0-dan fərqli olaraq yalnız texnologiyaya deyil, insanlara yönəlmişdir və texnologiyaları sosial problemlərin həllində vasitə kimi təqdim edir. Bu modeldə əsas məqsəd süni intellekt, əşyaların interneti (IoT), böyük verilənlər və robot texnologiyaları kimi qabaqcıl rəqəmsal texnologiyaların fiziki mühitə integrasiyası ilə vətəndaşların həyat keyfiyyətini yüksəltməkdir.

“Cəmiyyət 5.0” konsepsiyasının əsas xüsusiyyətləri bunlardır:

qabaqcıl texnologiyaların cəmiyyətin gündəlik həyatına tətbiqi;

fərdiləşdirilmiş yanaşmaların təşviqi və insan ehtiyaclarına uyğun xidmətlərin formalaşdırılması;

sosial bərabərsizliklərin azaldılması və inküziv imkanların yaradılması;

davamlı inkişafın təmin olunması və ekoloji-sosial problemlərin həllinə yönəlmə;

demoqrafik dəyişikliklər və iqtisadi sabitlik çağırışlarına cavab verən innovativ həllərin tətbiqi.

Beləliklə, “Cəmiyyət 5.0” təkcə texnoloji deyil, həm də dəyərlər üzərində qurulan bir konsepsiyadır. Bu model insan rifahını texnoloji inkişafın mərkəzinə yerləşdirir və cəmiyyətin hər bir üzvü üçün ədalətli, davamlı və inküziv gələcəyin qurulmasına şərait yaradır.

II. "İNKÜZİV CƏMIYYƏT VƏ TEXNOLOGİYALAR: ƏDƏBİYYAT İCMALI

İnküziv cəmiyyət — irq, cins, sosial sinif, nəsil və coğrafi mənsubiyyət kimi fərqləri aşaraq bütün fərdləri əhatə edən bir ictimai model kimi müəyyən olunur. İnküzivlik, imkanların bərabərliyini təmin etməklə yanaşı, cəmiyyətin bütün üzvlərinin razılaşdırılmış sosial institutların formalaşdırılmasında iştirak imkanlarını da nəzərdə tutur. 1995-ci ildə keçirilən Sosial İnkişaf üzrə Dünya Sammitində inküziv cəmiyyət “bütün fərdləri əhatə edən cəmiyyət” kimi müəyyən edilmişdir. Bu cəmiyyətdə hüquq və vəzifələri olan hər bir insan fəal rol oynayır. Sosial inküzivlik isə, öz növbəsində, fərdi kimliyindən və sosial mənsubiyyətindən asılı olmayaraq, hər kəs üçün bərabər imkanların təmin edilməsinə yönəlmiş bir prosesdir ki, insanlar həyatda öz tam potensiallarına çatdı bilsinlər.

UNESCO-ya görə, inküziv cəmiyyət ədalət, bərabərlik, sosial ədalət və insan hüquqları kimi fundamental dəyərlərə, eləcə də tolerantlıq və müxtəlifliyin qəbulu prinsiplərinə əsaslanır.

İnküziv cəmiyyətin əsas aspektlərinə insan hüquqlarına və azadlıqlarına hörmət, mədəni və dini müxtəlifliyin tanınması, qiymətləndirilməsi, sosial ədalət, həssas qrupların xüsusi ehtiyaclarının nəzərə alınması, bütün vətəndaşların demokratik iştirakının təmin edilməsi, qanunun aliliyi, bərabərsizliklərin azaldılması, çeviklik və tolerantlıq hər bir fərdin cəmiyyətdə fəal rolu daxildir. İmkan bərabərliyi, cəmiyyətə integrasiya hissi və bir-birinə bağlılıq, müxtəlifliyə hörmət də vacib elementlərdir.

İnküzivlik sosial həmrəylik anlayışı ilə sıx bağlıdır. Bu anlayış cəmiyyətdə bütün qruplara mənsub olmaq və onu qəbul etmək hissinin ifadəsidir[2].

A. INKLÜZIV CƏMIYYƏT ÜÇÜN SÜNI INTELEKT

Süni intellekt texnologiyalarının müxtəlif alətlər və tətbiqlər vasitəsilə istifadəsi, fiziki məhdudiyyətli olan şəxslərin informasiya və xidmətlərə bərabər çıxış imkanlarını artırmaqla yanaşı, onların sosial və funksional müstəqilliyini dəstəkləməklə inklüzivliyin gücləndirilməsinə səbəb olur. Məsələn, nitqi və ya səsi yazılı mətinə çevirən texnologiyalar eşitmə və nitq qüsurları olan insanlara rəqəmsal dünya ilə qarşılıqlı əlaqədə olmağa və ünsiyyət qurmağa kömək edir. Ekran oxuyucular və **"text-to-speech" (TTS)** texnologiyası görmə qabiliyyəti zəif olan və görmə məhdudiyyətli istifadəçilər üçün rəqəmsal məzmunla çıxış imkanı yaradır. Sİ-nin təchiz olunduğu köməkçi robotlar əşyaları qaldırmaq, qapıları açmaq, fiziki məhdudiyyətli insanlar üçün yemək bişirmək kimi gündəlik işləri yerinə yetirə bilirlər. Təhsildə Sİ xüsusi təhsil ehtiyacları olan tələbələrin unikal ehtiyaclarına uyğunlaşan şəxsi tədris platformalarının yaradılmasında istifadə edilir[4]. Sİ-ə əsaslanan naviqasiya və hərəkətiliyə yardım sistemləri məkan oriyentasiyası və obyektin tanınmasında görmə məhdudiyyəti olan insanlara kömək edir. Eşitmə qabiliyyəti olmayan insanlar arasında ünsiyyəti asanlaşdırmaq üçün işarə dilinin tanınması texnologiyaları da inkişaf etdirilir. Sİ texnologiyalarının tətbiqi sayəsində texnoloji vasitələr disleksiyadan istifadə edən insanlara yazı bacarıqlarını artırmağa kömək edir. Bundan başqa Sİ sağlamlığa nəzarət etmək və xəstəliyin ilkin əlamətlərini aşkar etmək üçün ağıllı saatlardan və digər cihazlardan istifadə olunur. Sİ-nin güclü tərəfdaş sosial robotları, virtual köməkçiləri və rəqəmsal köməkçiləri ünsiyyəti təmin edə, vacib hadisələri xatırlada, koqnitiv funksiyaları dəstəkləyə bilirlər[5]. Sİ-nin gücü ilə keçirilən interaktiv oyunlar yaşlı insanların əqli aktivliyini stimullaşdırır və onların sosial fəallığını yüksəldə bilər.

Müdafiəsiz qrupların sosial inklüzivliyi üçün Sİ-nin potensialı da böyükdür. Sİ-nin yardım etdiyi böyük verilənlərin analizi təhlükəli qrupları müəyyən edə, sosial problemləri proqnozlaşdırır və məqsədli dəstək verə bilər. Sİ ictimai xidmətlərə və məlumatlara çıxışı yaxşılaşdırır, iş və təlimi asanlaşdırır, çətin həyat şəraitində qərarların qəbul edilməsinə imkan verə bilər.

Sİ həyat keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq və cəmiyyətin müxtəlif təbəqələrinin sosial və iqtisadi imkanlarını genişləndirmək potensialına malikdir, lakin onun tətbiqi alqoritmin qərəzliliyi və məlumatların gizliliyi ilə bağlı etik aspektləri və riskləri diqqətlə nəzərdən keçirməyi tələb edir. Sİ fiziki məhdudiyyətli olan insanlara kömək etməkdən tutmuş yaşlı və həssas qruplara dəstək olmaq kimi geniş miqyaslı inklüzivlik tapşırıqları üçün istifadə olunur. Sİ alqoritmlərinin inkişafı və tətbiqi, onların təlim məlumatlarının keyfiyyətinə və obyektivliyinə birbaşa bağlıdır. Alqoritmlərin qərəzli və qeyri-obyektiv məlumatlar üzərində təlim keçirilməsi, diskriminasiya hallarının meydana gəlməsinə və sosial bərabərsizliklərin dərinləşməsinə gətirib çıxara bilər[8]. Ona görə də Sİ-nin ədalətlik, şəffaflıq və məsuliyyət nəzərə alınmaqla layihələndirilməsi və həyata keçirilməsi vacibdir. Yaponiyanın ən nüfuzlu biznes təşkilatlarından biri olan **Keidanren**, **Cəmiyyət 5.0** konsepsiyasının inkişafı və tətbiqi kontekstində **inklüzivlik** və **müxtəliflik** prinsiplərinin təmin olunmasında Sİ vacibliyini vurğulayır. Bu fakt Sİ-in daha

inklüziv cəmiyyət qurmaq potensialının biznes səviyyəsində tanınmasını göstərir.

B. INKLÜZIV CƏMIYYƏT ÜÇÜN ƏŞYALARIN İNTERNETİ

“Əşyaların İnterneti” Cəmiyyət 5.0-in sütunlarından biridir. Bu, insanların obyektlərarası qarşılıqlı əlaqəsinə, məlumatların toplanmasına və uzaqdan monitorinqə imkan yaradır. IoT fiziki məhdudiyyətli olan şəxslərin əlçatanlığının və müstəqilliyinin artırılmasında mühüm rol oynayır. IoT cihazları ilə təchiz edilmiş ağıllı evlər fiziki məhdudiyyətli olan insanlara evlərinin müxtəlif sahələrini səs əmrləri və ya mobil proqramlar, o cümlədən işıqlandırma, temperatur və cihazlar vasitəsilə idarə etməyə imkan verir. Ağıllı saatlar və fitnes izləyiciləri kimi taxıla bilən IoT cihazları yaşlıların, əlillərin sağlamlıq və fəaliyyətini izləyə bilər, həmçinin yıxılmaları aşkar edə və xəbərdarlıqlar verə bilər. Sensorları və GPS-i olan ağıllı əlil arabaları istifadəçilərə səyahət etməyə və maneələrdən qaçmağa kömək edə bilər. IoT əsaslı ev avtomatlaşdırma sistemləri müxtəlif növ əlilliyi olan insanlar üçün gündəlik həyatı xeyli asanlaşdırır.

IoT uzaqdan monitorinq, avtomatlaşdırılmış yardım və ünsiyyət üçün imkanlar yaratmaqla yaşlı və fiziki məhdudiyyətli olan insanların müstəqilliyinin və təhlükəsizliyinin təmin edilməsində əsas rol oynayır. Çoxsaylı nümunələr IoT bu əhalinin üzləşdiyi xüsusi problemləri həll etmək üçün necə istifadə edildiyini nümayiş etdirir. Inklüziv cəmiyyət üçün IoT inkişafı məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizlik məsələlərinin nəzərə alınmasını, həmçinin cihazların bütün kateqoriyalı istifadəçilər üçün əlçatan və istifadəyə yararlı olmasını təmin etməyi tələb edir. IoT faydaları ilə yanaşı, şəxsi məlumatların emalı ilə bağlı risklər də mövcuddur ki, bu da nəzərə alınmalıdır.

C. BIG DATA VƏ ONUN INKLÜZIVLIK DƏ ROLU

Big data Cəmiyyət 5.0-in digər vacib texnologiyasıdır, sosial problemləri həll etmək və həyat keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün böyük həcmdə informasiyanın toplanmasına və təhlilinə imkan verir. Big data təhlili müxtəlif əhali qruplarının, o cümlədən fiziki məhdudiyyətli olan insanların ehtiyaclarını və problemlərini daha yaxşı başa düşməyə imkan verir. Texnologiyaların istifadə formaları və sosial proqramların effektivliyi daha məqsədə uyğun və inklüziv həllərin inkişafına təkan verə bilər. Yaşlı insanlarla əlaqədar olaraq böyük verilənlərdən sağlamlıq vəziyyətinin monitorinqi, tibbi yardımın şəxsiləşdirilməsi və sosial fəaliyyətlərin analizi üçün istifadə olunur[6].

Big data inklüziv siyasət və proqramların tərtibi, həyata keçirilməsi üçün qiymətli məlumat verir, lakin məlumatların qərəzliliyi, məxfilik və lazımı qaydada monitorinq edilmədikdə, tənzimlənmədikdə sosial bərabərsizlikləri gücləndirmə potensialı ilə bağlı risklər nəzərə alınmalıdır. Mənbələrin analizi göstərir ki, böyük verilənlərin dəyəri birbaşa onun təmsilçiliyindən və ayrı-seçkilik amillərinin olmamasından asılıdır. Bundan əlavə, böyük həcmdə fərdi məlumatların toplanması və təhlili Cəmiyyət 5.0 çərçivəsində siyasət və texnologiyaların işləni hazırlanması zamanı nəzərə alınmalı olan ciddi məxfilik və təhlükəsizlik məsələlərini ortaya qoyur.

D. İNKLÜZİV CƏMIYYƏT ÜÇÜN ROBOTOTEXNİKA

Robototexnika Cəmiyyət 5.0-da getdikcə daha mühüm rol oynayır, gündəlik proseslərin avtomatlaşdırılmasından tutmuş xüsusi ehtiyacı olan insanlara yardımın göstərilməsinə qədər geniş miqyaslı işlərin həllini təklif edir. Fiziki məhdudiyyətli olan insanlar üçün gündəlik tapşırıqları yerinə yetirmək üçün köməkçi robotlar, hərəkətiliyi yaxşılaşdırmaq üçün robot protezlər və ekzoskeletlə robotlarından istifadə olunur. Robotlar yaşlıların qulluğunda da istifadə olunur. Onlar tibb işçiləri və qohumları ilə yoldaşlıq, ev köməkçisi və ünsiyyət vasitəsi kimi fəaliyyət göstərilir[7]. Robototexnika fiziki yardım göstərməklə inklüzivliyin artırılmasında mühüm rol oynayır, sosial inklüzivliyin təşkili, fiziki məhdudiyyətli olan şəxslərin və yaşlıların həyat səviyyəsinin yüksəldilməsinə xidmət edir. Lakin insan-robot qarşılıqlı fəaliyyətinin xərc, əlçatanlıq və etik aspektləri ilə bağlı məsələlər nəzərdən keçirilməlidir. Robotlar bir çox faydalı funksiyaları yerinə yetirə bilsələr də, ictimai və iqtisadi sahələrdə geniş şəkildə integrasiyası yüksək xərcləri və özəlləşdirməyə olan ehtiyacı ilə məhdudlaşır, insan-robot qarşılıqlı əlaqəsinin etik aspektlərini, o cümlədən güvən, avtonomluq və potensial dehumanizasiya məsələlərini nəzərə almaq vacibdir. Sosial robotlar yaşlı insanlarda tənhalıq və sosial təcridlə mübarizədə onlara ünsiyyət və emosional dəstək verməklə mühüm rol oynaya bilərlər.

III. GƏLƏCƏK İSTIQAMƏTLƏR VƏ PERSPEKTİVLƏR

Gələcəkdə Sİ və robototexnika əsasında daha yaxşı və əlçatan köməkçi texnologiyaların inkişafı gözlənilir. Teletibb və məsafədən öyrənmənin istifadəsi artacaq, daha çox insan, o cümlədən uzaq ərazilərdə yaşayan və ya hərəkət qabiliyyəti məhdud olan şəxslər üçün xidmətlərə çıxış imkanı təmin ediləcək. Bütün sakinlərin, o cümlədən əlilliyi olan şəxslərin və yaşlıların əlçatan infrastruktur və xidmətlərlə təmin edilməsi ilə əlaqədar ağıllı şəhərlər inkişaf etdiriləcəkdir.

Həssas əhali qruplarının ehtiyaclarını daha yaxşı müəyyən etmək və effektiv dəstək müdaxilələrini inkişaf etdirmək üçün böyük verilənlərdən istifadə ediləcək. Texnologiya fiziki məhdudiyyətli olan şəxslərin əmək və peşə reabilitasiyasını getdikcə asanlaşdıracaq. Cəmiyyət 5.0 çərçivəsində texnologiyaların gələcək inkişafı həqiqətən də inklüziv cəmiyyətin yaradılması üçün böyük imkanlar yaradır, lakin əhalinin bütün qruplarının ehtiyaclarının daim uyğunlaşdırılması, yenilənməsi və nəzərə alınmasını tələb edir. Gələcəkdə süni intellekt və robototexnika sahələrindəki irəliləyişlər, daha səmərəli və əlçatan köməkçi texnologiyaların inkişafına təkan verəcəkdir. Bu inkişaf, xüsusilə teletibb və məsafədən öyrənmə kimi tətbiqlərin genişlənməsi ilə uzaq ərazilərdə yaşayan, fiziki məhdudiyyətli olan şəxslər və ya digər çətinliklərlə üzləşən fərdlər üçün rəqəmsal və fiziki xidmətlərə çıxışı asanlaşdıracaqdır. Teletibb, xəstələrin həkimlərlə uzaq məsafədən əlaqə qurmasına imkan verəcək, bu da tibb xidmətlərinin daha əlçatan və effektiv olmasını təmin edəcəkdir[8].

Məsafədən öyrənmə isə təhsil sahəsində, xüsusilə fiziki məhdudiyyətli olan insanlar üçün tədrisin əlçatan olmasını təmin edəcəkdir. Beləliklə, bu texnologiyalar həyatın müxtəlif sahələrində daha geniş əhali kütləsi üçün faydalı olacaq,

xüsusilə yaşlılar və fiziki məhdudiyyətli olan insanlar üçün. Ağıllı şəhərlərdə, texnologiyanın köməyi ilə, şəhər əraziləri təkmilləşdirilmiş nəqliyyat, sağlamlıq xidmətləri, enerji təchizatı və sosial dəstək sistemləri ilə inkişaf etdiriləcəkdir.

Fiziki məhdudiyyətli olan insanların əmək və peşə reabilitasiyası da texnologiyalar vasitəsilə asanlaşacaqdır. Robototexnika və Sİ köməyi ilə, işçi qüvvəsinə daxil olmaqda çətinlik çəkən fərdlər üçün xüsusi təlim və məşğulluq proqramları yaradılacaq, bu da onların sosial və iqtisadi həyatlarına daxil olmalarını asanlaşdıracaqdır. Bu texnologiyalar həmçinin, fiziki və psixoloji reabilitasiya proseslərini sürətləndirərək, fiziki məhdudiyyətli olan insanların müstəqil həyat sürmələrini təmin edəcəkdir. Qeyd edək ki, Cəmiyyət 5.0-in inkişafı, gələcəkdə daha bərabər və inklüziv bir cəmiyyətin formalaşması üçün təməl yaratmaqla yanaşı, texnologiyaların sosial məsələlərə tətbiqinin effektivliyini artıracaq və daha geniş əhali qruplarının sosial həyatda fəal iştirakını təmin edəcəkdir.

IV. NƏTİCƏ

Bu məqalədə Cəmiyyət 5.0-in kontekstində inklüziv cəmiyyətin inkişafında texnologiyanın rolu kompleks təhlili edilir. Cəmiyyət 5.0 konsepsiyasında texnoloji inkişafa insan mərkəzli yanaşma təklif olunur. Məqsəd sosial problemlərin həlli və bütün vətəndaşların həyat səviyyəsinin yüksəldilməsidir. Sİ, IOT, BIG DATA və robototexnika fiziki məhdudiyyətli olan insanların, əhalinin yaşlı və sosial cəhətdən həssas olan seqmentlərinin əlçatanlığını və iştirakını artırmaq üçün böyük potensiala malikdir. Bu texnologiyalardan istifadə nümunələri onların fiziki, ünsiyyət və sosial maneələri dəf etmək bacarığını nümayiş etdirir, təhsil, səhiyyə, məşğulluq və sosial inklüzivlik üçün daha böyük imkanlar yaradır. Lakin bu potensialın tam dərk edilməsi üçün bir sıra mühüm çətinliklər və risklər nəzərə alınmalıdır. Məlumatların məxfiliyi və təhlükəsizlik məsələləri ciddi hüquqi və texniki müdafiə tədbirlərinin hazırlanmasını tələb edir.

İnklüziv cəmiyyətin inkişafına yanaşmaların müqayisəli təhlili göstərir ki, Cəmiyyət 5.0 irəliyə doğru əhəmiyyətli bir addım, həqiqətən də inklüziv mühit yaratmaq üçün texnoloji imkanlardan fəal istifadə etməklə, onu təmsil edir. Inklüzivlik üçün texnologiyanın istifadəsinin formalaşmasında, o cümlədən əlçatanlıq standartlarının hazırlanmasında, rəqəmsal savadlılığın dəstəklənməsində və lazımi infraqurultura investisiya qoyuluşunda ictimai siyasət və tənzimləmə əsas rol oynayır. Gələcək tendensiyaqların proqnozlaşdırılması, inklüzivliyi təmin edən texnologiyaların davamlı inkişafını və diffuziyasını göstərir. Əhalinin bütün qruplarının tələbatını nəzərə alan texnologiyaların hazırlanmasına və səfərbər edilməsinə, habelə onların sosial inklüzivliyə təsirinin monitorinqinə və qiymətləndirilməsinə xüsusi diqqət yetirilməlidir. Yalnız bu yolla hamı üçün ədalətli, davamlı və inklüziv cəmiyyət qurmaq üçün Cəmiyyət 5.0 potensialını tam şəkildə reallaşdırmaq mümkün olacaq.

İSTINADLAR

- [1] [www8.cao.go.jp,https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html#:~:text=In%20the%20th%20Science%20and,and%20physical%20space.%22%20In%20order](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html#:~:text=In%20the%20th%20Science%20and,and%20physical%20space.%22%20In%20order)
- [2] (PDF) Inclusive Societies-ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/352553356_Inclusive_Societies
- [3] 8 Ways AI is Enhancing Accessibility for People with Disabilities - DigitalDefynd, <https://digitaldefynd.com/IQ/ways-ai-is-enhancing-accessibility-for-people-with-disabilities/>
- [4] Peters, L.S.; Narayanan, V.K.; O'Connor, G.C.; Tribbitt, M. Innovation at the National Level. In Wiley Encyclopedia of Management; Cooper, C., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2015; Volume 13, pp. 1–10.
- [5] ImpactfulAI: Как лидеры технологий и социальные новаторы продвигают ИИ для общественного блага, <https://www.weforum.org/stories/2024/06/collaborating-for-impactful-ai-tech-leader-meets-social-innovators/>
- [6] Transcript of “A Land Robotics for Smart Society 5.0” - International Research Centre On Artificial Intelligence, <https://ircai.org/wp-content/uploads/2022/04/AI-and-Robotics-for-Smart-Society-5.0-Transcript.pdf>
- [7] Society 5.0: Concept, Challenges, and Examples, дата последнего обращения: апреля 13, 2025, <https://innovamoris.com/en/society-5-0-concept-challenges-examples/>
- [8] Artificial Intelligence and Empowerment of People with Disabilities in Society 5.0: Trends and Insights from a Bibliometric Analysis - ResearchGate, дата последнего обращения: апреля 13, 2025, https://www.researchgate.net/publication/387460669_Artificial_Intelligence_and_Empowerment_of_People_with_Disabilities_in_Society_5_0_Trends_and_Insights_from_a_Bibliometric_Analysis.

İnsan Sağlamlığına Yönelmiş Kibertəhlükələr və Onların Rəqəmsal Ekspertizası

Sənən Vəlizadə

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
senanvalizade@gmail.com

Xülasə—Rəqəmsal mühitdə insan sağlamlığına yönəlməmiş təhlükələrin, xüsusilə intihar həddinə çatdırma, intihara meyillilik, kibercyberbulinq və emosional təzyiqlərin aşkarlanması və təhlili üçün çoxkomponentli yanaşma nəzərdən keçirilmişdir. Bu yanaşma çərçivəsində təbii dilin emalı əsaslı sentiment analizi, sosial şəbəkələrin qraf modelləşdirilməsi və loq fayl təhlili vasitəsilə istifadəçi davranışlarının analizi məsələlərinə baxılmışdır. Sözü gedən modellər vasitəsilə yüksək dəqiqliklə riskli məzmunların aşkarlanması və Rəqəmsal Risk İndeksinin hesablanması ilə fərdi psixoloji vəziyyətləri proqnozlaşdırmağın mümkün olduğu müəyyənəşdirilmişdir. Sistem həm profilaktik müdaxilə, həm də hüquqi sənədləşdirmə üçün effektiv alət təqdim edir.

Açar sözlər— *rəqəmsal ekspertiza; kibertəhlükələr; sentiment analiz; sosial şəbəkə analizi; onlayn psixoloji zorakılıq*

I. GİRİŞ

İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) sürətli inkişafı və sosial media istifadəsinin geniş yayılması rəqəmsal həyatın insan sağlamlığına və psixikasına olan təsirlərini daha da aktuallaşdırmışdır. Xüsusilə yeniyetmələr onlayn mühitdə kibercyberbulinq, intihara təşviq, psixoloji manipulyasiya və internet asılılığı kimi kibertəhlükələrə məruz qalırlar [1, 2].

BMT və UNICEF-in hesabatlarına əsasən, 13–17 yaş arası yeniyetmələrin 50%-dən çoxu onlayn aqressiya və psixoloji təzyiqlə qarşılaşdıklarını bildirirlər [3]. Bu kimi hallar bəzi hallarda depressiya, davranış pozuntuları və intihar cəhdləri ilə nəticələnir [4].

Ənənəvi psixoloji qiymətləndirmə metodlarının bu halları vaxtında aşkarlamaq üçün yetərsiz olduğu müasir dövrdə, yeni texnoloji yanaşmaların işlənməsi tələb olunur. Bu baxımdan, rəqəmsal ekspertiza metodları – o cümlədən loq faylların təhlili, təbii dilin email (TDE) əsaslı sentiment analizləri, sosial şəbəkələrin qraf modelləri və s. – psixoloji risk faktorlarını avtomatik müəyyənəşdirmək üçün perspektivli vasitələrdir [5].

II. ƏDƏBİYYATIN İCMALI

Onlayn psixoloji təhlükələr üzrə tədqiqatlar son illərdə nəzərəcarpacaq dərəcədə artmışdır. Hinduja və Patchinin [1] araşdırmalarında kibercyberbulinqin yeniyetmələrdə depressiya və intihar riski ilə əlaqəsi empirik sübutlarla ortaya qoyulmuşdur. Bu cür hallar, sosial rifah və psixoloji təhlükəsizliyə ciddi təsirlər göstərir.

Livingstone və Stoilova [6] Avropanın 19 ölkəsində apardıqları araşdırmada yeniyetmələrin təxminən 27%-nin onlayn psixoloji zorakılığa məruz qaldığını bildirmişlər. Bu məlumatlar, rəqəmsal müdaxilə alətlərinə olan ehtiyacın artdığını göstərir.

Sosial qraf modellərinin tətbiqi də bu kontekstdə əhəmiyyətlidir. Barabasi [5] tərəfindən təklif edilən şəbəkə nəzəriyyəsi, onlayn sosial strukturların psixoloji təzyiqlərin yayılmasında necə rol oynaya biləcəyini izah edir.

Digər tərəfdən, təbii dilin emalı və sentiment analiz son dövrlərdə intihara təşviq və depressiv məzmunların avtomatik aşkarlanmasında geniş istifadə olunmağa başlanmışdır. Renjith və digərlərinin təqdim etdiyi dərin təlim yanaşması bu sahədə effektiv nəticələr təqdim edir. Bundan əlavə, süni intellekt sistemlərinin davranış analitikası ilə birləşdirilməsi psixoloji diaqnostika və erkən müdaxilə imkanlarını artırır

III. METODOLOGİYA

Tədqiqat çərçivəsində insan sağlamlığına yönəlməmiş kibertəhlükələrin rəqəmsal ekspertiza metodları ilə təhlili məqsədilə çoxkomponentli metodoloji yanaşma təklif olunmuşdur və istifadə olunan texniki əsaslar dörd istiqamətdə sistemləşdirilmişdir: TDE əsaslı sentiment analiz, sosial şəbəkələrin qraf vasitəsilə modelləşdirilməsi, loq fayl davranış təhlili və rəqəmsal ekspertiza prinsipləri.

Təklif olunan model real istifadəçi məlumatları üzərində deyil, psixoloji risklər və onlayn davranışlarla bağlı mövcud elmi ədəbiyyat, nəzəri yanaşmalar və ictimai platforma müşahidələrindən çıxarılan simulyasiya məlumatları əsasında formalaşdırılmışdır. Məqsəd bu metodların real verilənlər tədqiqatlarına inteqrasiyası üçün konseptual və texniki yanaşma təqdim etməkdir.

A. Təbii dilin emalı və sentiment analizi

Bu tədqiqatın əsas məqsədlərindən biri, sosial media platformalarında yayımlanan və intihara meyillilik, kibercyberbulinq və emosional yüklü gərginlik ehtiva edən məzmunların avtomatik identifikasiyasıdır. Bu məqsədə çatmaq üçün Təbii Dil Emalı (TDE) texnologiyaları tətbiq olunmuş, xüsusi olaraq sentiment analizi üsullarından istifadə edilmişdir. Bu üsullar, istifadəçi tərəfindən yazılmış mətnlərdə emosional və semantik xüsusiyyətləri analiz edərək psixoloji risk səviyyəsini qiymətləndirməyə imkan verir.

Bunun üçün transformer əsaslı modellərdən, xüsusilə BERT kimi iki istiqamətli kontekstual təlim modellərindən

istifadə olunmuşdur. Bu texnologiyalar mətnin mənasını kontekstdə anlamaqla yüksək dəqiqliklə mənfə, neytral və yüksək riskli məzmunları təsnifləndirməyə imkan yaradır. Modellər həmçinin zamanla dəyişən istifadəçi davranışlarını təhlil edərək, psixoloji vəziyyətdə baş verən dəyişikliklərin proqnozlaşdırılmasını da dəstəkləyir.

Bu yanaşma tək-tək paylaşımlar üzərində deyil, ümumi davranış və emosional meyillər üzərində qurulan davamlı və adaptiv analiz sistemi formalaşdırmağa şərait yaradır. Paylaşımlar “neytral”, “mənfə”, “intihara meyilli” və “kiberbullinq” olmaqla dörd sinifə ayrılmış və BERT, RoBERTa modelləri ilə analiz edilmişdir. Bu modellər əvvəlcədən təlim görmüş etiketli məlumatlar əsasında çoxsinifli təsnifat modeli kimi öyrədilmişdir. Hər bir paylaşım, mətnin kontekstual semantikasına əsasən uyğun risk sinifinə aid edilmişdir. Modelin təlimində aşağıdakı parametrlər tətbiq edilmişdir:

- Optimallaşdırma (Optimizer): AdamW
- İtki funksiyası (Loss Function): Categorical Cross-Entropy
- Dropout: 0,3
- Təlim/Test nisbəti: 80%/20%

Həmçinin siniflərə verilmiş etikətlər və onlara uyğun çəki qiymətləri aşağıdakı cədvəldəki kimidir:

CƏDVƏL I. SINIFLƏRƏ VERİLMİŞ ETİKETLƏR VƏ ÇƏKİ DƏYƏRLƏRİ

Sinif	Etiket	Çəki
Neytral	0	0
Mənfə	1	0,4
İntihara meyilli	2	0,8
Kiberbullinq	3	1

Bu çəkilər əsasında hər bir istifadəçinin paylaşımlarının çəkili ortalaması alınaraq psixoloji risk indeksi hesablanmış və aşağıdakı aralığa əsasən kateqoriyalasdırılmışdır:

- 0,00–0,40: Aşağı risk
- 0,41–0,70: Orta risk
- 0,71–1,00: Yüksək risk

Beləliklə, bu texnologiyalar psixoloji təhlükələrin aşkarlanması və qarşısının alınması üçün real vaxtlı və etibarlı bir vasitə olaraq istifadə oluna bilər [8]. Hər bir istifadəçi üzrə bu paylaşımların emosional yükləri nəzərə alınaraq 0 ilə 1 arasında dəyişən bir risk indeksi hesablanmışdır.

Müəyyən etik dəyərlərə əsasən 0.65 və yuxarı nəticələr “yüksək psixoloji risk” olaraq qəbul edilmişdir və bu istifadəçilər sistem tərəfindən erkən xəbərdarlıqla işarələnmişdir. Modelin effektivliyi Dəqiqlik = 0,87, Həssaslıq = 0,81, F1-ölçüsü = 0,84 metrikaları ilə qiymətləndirilmişdir. Hər istifadəçiyə görə ümumi emosional davranış indeksi çıxarılmış və müəyyən dəyərlərə əsasən “yüksək risk” statusu müəyyən olunmuşdur.

B. Qraf analizi

Sosial şəbəkə strukturlarının təhlili üçün qraf nəzəriyyəsinə əsaslanan modellər geniş istifadə olunur. Bu modellərdə şəbəkə $G = (V, E)$ formasında təqdim edilir, burada V istifadəçiləri, E isə onların qarşılıqlı əlaqələrini (məsələn, şərh, cavab, paylaşım və s.) ifadə edir. Bu cür strukturlaşdırma

sosial şəbəkədəki əlaqələrin sıxlığını və informasiya axınının dinamikasını qiymətləndirməyə imkan verir [9].

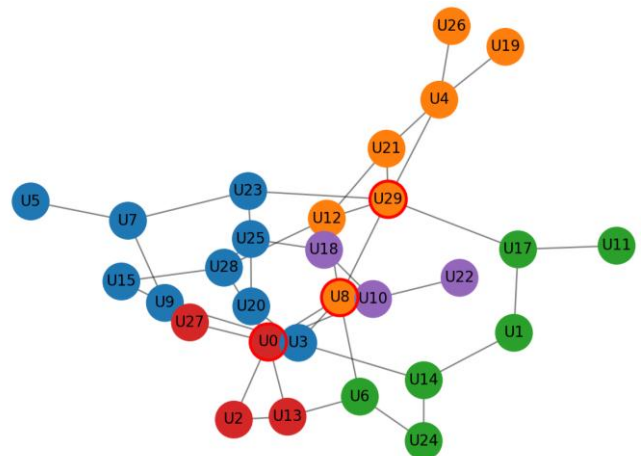
Qraf üzərində aparılan təhlillər aşağıdakı əsas mərkəzilik göstəricilərinə əsaslanırlar:

- Dərəcə mərkəziliyi (Degree Centrality) – istifadəçinin birbaşa əlaqələrinin ümumi sayı, onun şəbəkədəki aktivliyini göstərir.
- Yaxınlıq mərkəziliyi (Closeness Centrality) – bir qovşağın bütün digər qovşaqlara orta məsafəsinin göstəricisidir və məlumat axınına çatma sürətini əks etdirir.
- Vasitəçilik mərkəziliyi (Betweenness Centrality) – bir qovşağın digər istifadəçilər arasındakı ən qısa yol üzərində neçə dəfə yerləşdiyini ölçür və bu onun şəbəkədəki vasitəçi rolunu müəyyən edir.

Sosial şəbəkə daxilində icmaların aşkarlanması üçün müxtəlif metodlardan istifadə olunur. Bu məqsədlə sıx tətbiq olunan Louvain [10] və Girvan–Newman [11] alqoritmləridir. Louvain alqoritmı modulyarlıq göstəricisinə əsasən şəbəkəni yüksək daxili əlaqəyə malik klasterlərə bölür. Girvan–Newman alqoritmı isə “edge betweenness” prinsipinə əsasən əlaqələrin ayrılmasını modeləşdirir.

Mövcud tədqiqatlarda göstərilir ki, bəzi şəbəkə icmaları daxilində daha intensiv şəkildə yayılmış depressiv və aqressiv məzmunlar müşahidə olunmuşdur. Belə klasterlər psixoloji risk ehtiva edən istifadəçilərin müəyyən edilməsi baxımından əhəmiyyətlidir. Bu strukturlar üzərində zaman kəsiyində aparılan müşahidələr istifadəçi davranışında risk faktorlarını əvvəlcədən proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Aşağıdakı şəkildə Qraf üzərində Louvain klasterləmə nəticəsində 5 əsas istifadəçi icması göstərilmişdir.



Şəkil 2. Sosial şəbəkə qraf strukturu – istifadəçilərarası əlaqələrin klasterləşməsi.

C. Loq fayl analizi və davranış profilləri

İstifadəçilərin informasiya məkanında fəaliyyətlərinə dair göstəricilər – o cümlədən orta sessiya müddəti, klik sıxlığı, istifadəçi sorğuları və emosional məzmunla qarşılıqlı əlaqə – sistem loqları vasitəsilə qeydə alınan əsas parametrlər kimi

qiymətləndirilir [12, 13]. Bu göstəricilərdən istifadə etməklə davranış dinamikasına dair analiz aparmaq və istifadəçinin psixoloji vəziyyətinə dolaylı yanaşma tətbiq etmək mümkündür. Təhlil prosesində həm klassik statistik metodlara, həm də məşin təlimi əsaslı modellərə istinad edilir.

Əsas davranış göstəriciləri aşağıdakı kimi qruplaşdırılır:

- **session_time_avg:** İstifadəçinin gündəlik sessiyalar üzrə platformada keçirdiyi orta vaxt (dəqiqə ilə ölçülür). Bu göstərici, istifadəçinin ümumi aktivliyinin və bağlılıq səviyyəsinin göstəricisidir.
- **emotional_content_rate:** İstifadəçinin baxdığı məzmunlar arasında emosional (depressiv, aqressiv və s.) məzmunların nisbəti (% ilə). Bu parametris emosional yönümlü məzmunlara marağı əks etdirir.
- **post_frequency:** Gündəlik paylaşım sayı. Aktivlik səviyyəsinin ölçülməsi və motivasiya dərəcəsinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.
- **quiet_periods:** Aktiv olmayan (offline) və ya paylaşım etmədiyi passivlik intervalları. Bu dövrlər psixoloji təcrid və ya dəyişiklik göstəricisi ola bilər.
- **interaction_ratio:** Digər istifadəçilərlə şərhlər, bəyənmələr və cavablar vasitəsilə qurulan qarşılıqlı əlaqənin nisbəti. Sosial dəstəyin və inteqrasiyanın göstəricisidir.

Bu göstəricilər ilkin mərhələdə “MinMaxScaler” alqoritmi vasitəsilə eyni intervala gətirilir (məsələn, 0 ilə 1 arasında) və bu da fərqli vahidlərdə olan göstəricilərin bir model daxilində müqayisəsinə imkan yaradır. Daha sonrakı logistik regression modeli tətbiq edilərək hər bir istifadəçi üçün Rəqəmsal Risk İndeksi (RRI) hesablanır.

Modelin təlimi üçün simulyasiya yolu ilə yaradılmış 450 fərqli istifadəçi davranış profili əsasında şərti məlumat bazası formalaşdırılır. Bu model yeni istifadəçi üçün risk indeksini təxmin edərkən öyrəndiyi bu nümunələrdən istifadə edir.

Əldə edilən RRI dəyərləri aşağıdakı risk kateqoriyalarına uyğunlaşdırılır:

CƏDVƏL II. RƏQƏMSAL RISK İNDEKSİ DƏYƏRLƏRİ

Risk indeksi aralığı	Risk kateqoriyası
0 – 0,40	Aşağı risk
0,41 – 0,7	Orta risk
0,71 - 1	Yüksək risk

Əgər bir istifadəçinin RRI dəyəri 0,71-dən yuxarı olarsa, bu şəxs sistem tərəfindən “yüksək risk” kateqoriyasına daxil edilir. Bu cür istifadəçilər üçün sistem avtomatik olaraq erkən xəbərdarlıq signalı yaradır. Nəticədə bu istifadəçilər real vaxtda izləmə bilər və ehtiyac olduqda psixoloji dəstək və ya hüquqi müdaxilə planlaşdırıla bilər.

Bu yanaşma, psixoloji risklərin aşkarlanmasında davranış təhlilinin necə effektiv istifadə oluna biləcəyini nümayiş etdirir və rəqəmsal mühitdə təhlükə siqnallarını vaxtında müəyyən etməyə imkan verir.

D. Rəqəmsal ekspertiza və kibertəhlükələrin hüquqi sənədləşdirilməsi

İnsan sağlamlığına yönəlmiş kibertəhlükələrin, xüsusilə intihara təşviq, kiberculling və emosional təzyiq kimi halların identifikasiyası yalnız texniki aşkarlanma ilə məhdudlaşmır. Bu hallar həm də hüquqi, sosial və psixoloji aspektlərdən sənədləşdirilməli, qiymətləndirilməli və arxivləşdirilməlidir. Rəqəmsal ekspertiza (digital forensics) bu prosesin mühüm komponentidir və istifadəçi davranışlarının, mətnlərdəki emosional risklərin, o cümlədən qarşılıqlı əlaqələrin texniki və hüquqi dəyərləndirmə üçün dəlil kimi çıxarılmasına xidmət edir [14, 15].

Ənənəvi rəqəmsal ekspertiza yanaşmalarında sübutlar əsasən texniki parametrlərə – fayl tarixçəsi, IP ünvanı, giriş vaxtı və s. əsaslanır. Lakin psixoloji təhlükələr kontekstində bu yanaşma bəzən qeyri-kafi qalır. Emosional və sosial davranışların hüquqi dəyərinin qiymətləndirilməsi üçün mətnin məzmunu və istifadəçi profili ilə əlaqəsi də nəzərə alınmalıdır.

Burada konkret kontekstə bağlı məzmun təhlili ön plana çıxır. Məsələn, “Məni rahat buraxın” ifadəsi neytral görünə bilər, lakin əgər bu cümlə ardıcıl təhqir və təhdid mesajlarından sonra paylaşılıbsa, bu, təzyiq nəticəsində yaranmış emosional müdafiə reaksiyası kimi qiymətləndirilə bilər.

Hər bir mətnin öncəki və sonrakı paylaşım konteksti, o cümlədən sosial qrafikdə yerləşməsi, mətnin intensivliyini və məqsədini dəyişə bilər.

Eyni ifadənin fərqli kontekstdə müxtəlif hüquqi dəyərlərə malik ola biləcəyi nəzərə alınaraq, sistem mətnləri yalnız onun çərçivəsində deyil, öncəki və sonrakı məzmunla birlikdə analiz edir. Bu yolla sübutun mənşəyi, təhrikədi elementləri və emosional yükü daha obyektiv qiymətləndirilir.

Kontekstual təhlil sübutun niyyət yönümlü (intent-based) qiymətləndirilməsinə şərait yaradır ki, bu da psixoloji zorakılığın hüquqi təsbitində ənənəvi metodlardan daha yüksək dəyərləndirmə dəqiqliyi təqdim edir.

Sistem xüsusilə təkrarlanan və sistemli emosional zorakılıq hallarını identifikasiya etmək üçün kontekstual oxşarlıq analizi tətbiq edir və bu halları hüquqi istintaq üçün ayrıca sübut klasteri şəklində təqdim edir.

Bu proses aşağıdakı bir neçə addımda göstərilə bilər:

A. Rəqəmsal izlərin qorunması və hüquqi uyğunluq

Analiz üçün ilk və əsas prinsip məlumatın tamlığının, yəni onun hər hansı bir dəyişikliyə məruz qalınmasından qorunmasıdır. Sosial şəbəkə platformalarında istifadəçi fəaliyyətləri (paylaşımlar, şərhlər, qarşılıqlı əlaqələr, sessiya məlumatları və s.) avtomatik şəkildə sistem loqları vasitəsilə qeydə alınır. Bu loqlar yalnız oxuna bilən formatda (read-only) saxlanılır və SHA-256 kimi kriptografik heş (hashing) metodları ilə müdaxiləyə qarşı qorunur. Hər bir mənbə elementi üçün yaradılan heş dəyəri sübutun dəyişdirilmədiyini təsdiq edən rəqəmsal barmaq izi rolunu oynayır [16].

B. Zaman oxu və hadisələrin xronologiyası

Rəqəmsal sübutların əsasını zaman etiketləri (timestamp) təşkil edir. Hər paylaşım, baxış və reaksiya əməliyyatının hansı zaman kəsiyində baş verdiyi dəqiq qeyd olunur. Bu məlumat analitikə “kiberhadisə xəritəsi” qurmağa imkan verir. Belə bir xəritə vasitəsilə, məsələn, bir istifadəçiyə qarşı yönəlmiş sistemli təhqir və təhdid halları zamana görə düzülərək, hüquqi baxışda təkrarlanan və məqsədli zorakılıq nümunəsi kimi təqdim edilə bilər [17].

C. Mənbə və kimliyin müəyyən olunması texnologiyaları

Platforma üzərində yayımlanan şübhəli və riskli məzmunların mənbə analizi üçün istifadəçi IP ünvanları, cihaz identifikatorları (MAC address, IMEI), brauzer izləri (user-agent string) və sessiya məlumatları toplanır. Bu texniki atributlar rəqəmsal iz kimi ekspertiza hesabatlarına əlavə edilir və konkret cihazla konkret hərəkət arasında əlaqə qurmağa imkan verir. Bu cür analiz hüquqi dəlillərin mənbəyi və etibarlılığı baxımından kritik əhəmiyyət daşıyır [15].

D. Emosional və davranış risklərinin arxivləşdirilməsi

Tədqiqat çərçivəsində tətbiq olunan sentiment analizi, loq fayl davranış modelləri və sosial qraf təhlilləri vasitəsilə aşkarlanan yüksək riskli məzmunlar ayrıca rəqəmsal ekspertiza üçün təyin olunmuş arxivdə toplanması nəzərdə tutulur. Bu arxivdə hər bir qeyd üçün aşağıdakılar təqdim olunur:

- Mətnin tam məzmunu və onun təhlil nəticələri (risk növü, ehtimal göstəricisi),
- Paylaşımın tarixi və zamana dair göstəricilər,
- İstifadəçinin nəzərdə tutulmuş zaman kəsiyində davranış göstəriciləri (sessiya uzunluğu, aktivlik səviyyəsi),
- Sistem tərəfindən avtomatik verilmiş risk statusu.

Bu məlumatlar hüquqi orqanlara və psixoloji müdaxilə qruplarına təqdim edilə biləcək tam sübut bazası formalaşdırır [14, 17].

E. Beynəlxalq standartlarla uyğunluq

Rəqəmsal sübutların hüquqi dəyərə malik olması üçün NIST SP 800-86, ISO/IEC 27037, Sübutların ötürülmə zənciri (Chain of Custody) kimi beynəlxalq standartlara uyğunluq təmin edilməlidir. Bu standartlar sübutların necə toplanmalı, saxlanmalı və təqdim edilməli olduğunu müəyyən edir. Sistemdə tətbiq edilən sübut toplama metodlarının bu yanaşmaya uyğunlaşdırılması nəzərdə tutulmuşdur [18, 19].

Bu yanaşma təkcə texnoloji əsaslara deyil, eyni zamanda hüquqi və sosial məsuliyyətlərə əsaslanır. Kibertəhlükələrin və onların nəticəsində yaranan biləcək risklərin yalnız aşkarlanması deyil, həm də etibarlı şəkildə sənədləşdirilməsi üçün prosesə rəqəmsal ekspertizanın integrasiyası kritik rol oynayır. Sistem, həm profilaktik xəbərdarlıq həlli, həm də hüquqi istintaq məqsədilə istifadə oluna biləcək tam hüquqi-süni intellekt əsaslı əsaslı təqdim edə bilər.

V. NƏTİCƏ

Bu tədqiqatda insan sağlamlığına yönəlmiş kibertəhlükələrin erkən aşkarlanması və proqnozlaşdırılması məqsədilə rəqəmsal ekspertiza yanaşması təklif olunmuşdur. Təklif olunan model Təbii Dil Emalı (TDE), sosial şəbəkə qraf analizi, loq fayl davranış modelləri və rəqəmsal ekspertiza metodlarını birləşdirərək çoxkomponentli və qarşılıqlı əlaqəli analitik yanaşma təqdim edir.

TDE əsaslı sentiment analiz modulu, xüsusilə depressiv və intihara meyilli məzmunun yüksək dəqiqliklə identifikasiyasını təmin edə bilər ($F1$ -ölçüsü $> 0,80$). Bu nəticələr sistemin emosional risk faktorlarını mətn üzərindən effektiv şəkildə aşkar edə bildiyini göstərir. Paralel olaraq, sosial qraf strukturlarının təhlili vasitəsilə istifadəçilərarası əlaqələrin intensivliyi və təsir radiusu qiymətləndirilmiş, klasterlərdə mənfəət emosional məzmunun lokallaşmış şəkildə yayılması müşahidə olunmuşdur. Yüksək mərkəzilik göstəricilərinə malik istifadəçilərin aşkarlanması isə psixoloji təsirin necə və kimlər tərəfindən yayılmasına dair mühüm dəlillər təqdim edə bilər.

Loq fayllar əsasında qurulan davranış modelləri, istifadəçilərin sessiya müddətləri, paylaşım sıxlığı və məzmun istiqamətləri kimi dəyişənlərə əsaslanaraq avtomatlaşdırılmış psixoloji risk qiymətləndirmə sistemi yaratmağa imkan vermişdir. “Logistic regression” tətbiqi ilə hesablanan Rəqəmsal Risk İndeksi (RRI) fərdi və klaster səviyyəsində risk proqnozlarını hesablamaq üçün səmərəli mexanizm kimi çıxış etmişdir.

Simulyasiya məlumatları üzərində həyata keçirilmiş bu yanaşma, metodoloji baxımdan sistemin texniki effektivliyini və nəzəri əsaslandırmasını təsdiqləyir. Gələcəkdə bu model real zamanlı sosial media məlumatları və integrasiya olunmuş loq sistemləri ilə sınaqdan keçirilərsə, həm elmi, həm də praktik baxımdan önəmli tətbiq perspektivləri yarada bilər.

Təklif olunan yanaşmanın tətbiq imkanlarını aşağıdakı ssenari üzərindən modelləşdirmək olar. Məsələn, bir yeniyetmə sosial mediada ardıcıl şəkildə təhqir və hədə-qorxu məzmunlu paylaşımlara məruz qalır. Onun emosional vəziyyəti zamanla pisləşir, paylaşım intensivliyi azalır, sessiya müddəti artır və daha çox depresiv mövzularda məzmunlarla qarşılıqlı əlaqə qurur. Nəhayət, “həyatdan bezdim”, “yaşamaq istəmirəm” kimi paylaşımlar edir ki, buna isə ətraf mühit tərəfindən gec reaksiya verilir.

Təklif olunan sistem bu halı daha erkən, aşağıdakı şəkildə aşkarlaya bilər:

- TDE modulu – intihara meyilli və emosional yüklü ifadələri tanıyaraq risk signalı yaradır;
- Loq fayl təhlili – istifadəçi davranışında anomaliyaları qeydə alır;
- Sosial şəbəkə qraf analizi – zərərli əlaqələri və kiberbullinqə məruz qalma hallarını aşkara çıxarır;
- Rəqəmsal ekspertiza modulu – bu prosesin izlərini sənədləşdirərək hüquqi istintaq üçün istifadə edilə biləcək sübutlar yaradır.

Beləliklə, təqdim olunan çoxkomponentli rəqəmsal ekspertiza modeli həm profilaktik müdaxilə üçün erkən xəbərdarlıq sistemini, həm də hüquqi çərçivədə istifadə oluna biləcək sübut əsaslı yanaşmanı təmin etməklə insan sağlamlığına yönəlmiş onlayn təhdidlərə qarşı effektiv cavab strategiyası təklif edir.

İSTİNADLAR

- [1] S. Hinduja and J. W. Patchin, “Cyberbullying: Identification, Prevention, and Response”, Cyberbullying Research Center, 2020.
- [2] S. Livingstone and M. Stoilova, “Cyberbullying, online harms and regulation,” London School of Economics, EU Kids Online, 2019.
- [3] UNICEF, “Children in a Digital World,” “The State of the World's Children”, United Nations, 2017.
- [4] World Health Organization, “Preventing suicide: A global imperative,” WHO Report, 2014.
- [5] A.-L. Barabási, “Linked: The New Science of Networks”, Cambridge, MA: Perseus Publishing, 2002.
- [6] S. Livingstone and M. Stoilova, “The 4Cs: Classifying Online Risk to Children”, EU Kids Online, London School of Economics and Political Science, London, UK, 2021.
- [7] S. Renjith, A. Abraham, S. B. Jyothi, L. Chandran, and J. Thomson, “An ensemble deep learning technique for detecting suicidal ideation from posts in social media platforms,” arXiv:2112.10609, 2021.
- [8] J. Devlin, M. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, “BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding,” “Proc. of NAACL-HLT”, 2019
- [9] L. C. Freeman, “Centrality in social networks conceptual clarification,” “Social Networks”, vol. 1, no. 3, pp. 215–239, 1979.
- [10] V. D. Blondel, J. L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, “Fast unfolding of communities in large networks,” “J. Stat. Mech. Theory Exp.”, vol. 2008, no. 10, P10008, 2008.
- [11] M. Girvan and M. E. J. Newman, “Community structure in social and biological networks,” “Proc. Natl. Acad. Sci. USA”, vol. 99, no. 12, pp. 7821–7826, 2002.
- [12] Y. Ren, Y. Zhang, X. Zhang, J. Li, and H. Lin, “Depression Detection Based on Multi-Source Heterogeneous Data from Social Media,” “IEEE Trans. Knowl. Data Eng.”, vol. 35, no. 1, pp. 631–644, Jan. 2023.
- [13] J. Guntuku, D. Preotiuc-Pietro, M. Eichstaedt, D. Ungar, and L. H. Schwartz, “Personality, demographic, and mental health predictors of posting behavior on social media,” “npj Digital Medicine”, vol. 2, no. 1, p. 43, 2019.
- [14] B. Carrier, “Digital Forensics,” in “Handbook of Information Security”, vol. 1, H. Bidgoli, Ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2006, pp. 1001–1017.
- [15] E. Casey, “Digital Evidence and Computer Crime: Forensic Science, Computers and the Internet”, 3rd ed. Burlington, MA: Academic Press, 2011.
- [16] M. K. Rogers and K. Seigfried, “The future of computer forensics: A needs analysis survey,” “Computers & Security”, vol. 23, no. 1, pp. 12–16, 2004.
- [17] S. Garfinkel, “Digital forensics research: The next 10 years,” “Digital Investigation”, vol. 7, pp. S64–S73, 2010.
- [18] ISO/IEC 27037:2012, “Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence”, Int. Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.
- [19] K. Kent, S. Chevalier, T. Grance, and H. Dang, “Guide to Integrating Forensic Techniques into Incident Response,” “NIST Special Publication 800-86”, Natl. Inst. of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, Aug. 2006.

SEKSIYA II

Tibdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin elmi-praktiki problemləri

Hepatosellulyar Karsinomanın Diaqnostikası üçün Ekspert Sistemi

Məsumə Məmmədova¹, Nuru Bayramov², Zərifə Cəbrayilova³, Minarə Manaflı⁴, Mehriban Hüseynova⁵

^{1,3,4}ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

^{2,5}Azərbaycan Tibb Universiteti I Cərrahi xəstəliklər kafedrası, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²nurubay2006@yahoo.com, ³djabrailova_z@mail.ru, ⁴minulya@rambler.ru,

⁵mehribanhuseynova9@gmail.com

Xülasə—Məqalədə qaraciyərin bədxassəli şişləri arasında ən geniş yayılan hepatosellulyar karsinomanın (HSK) hansı mərhələdə olması ilə bağlı qərarlar qəbul edən və onlayn mühitdə əlyətər olan ekspert sisteminin yaradılması alqoritmi verilmişdir. HSK çoxlu sayda kliniki əlamətlərlə xarakterizə olunur, əlamətlərin ala biləcəyi çoxsaylı qiymətlərə görə yaranan müxtəlif kombinasiyalar HSK-nın 7 mərhələsindən birinə uyğundur. İstinad edilən parametrlərin çoxluğu, mürəkkəbliyi, kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli olması HSK-nın mərhələsinin təyini məsələsinin qeyri-müəyyən mühitdə baş verdiyini şərtləndirir və intellektual texnologiyalara istinad etməklə HSK-nın diaqnostikası sisteminin işlənilməsini aktuallaşdırır. Bu məqsədlə ekspert sistemini təşkil edən verilənlər bazası, bilik bazası, məntiqi nəticəçixarma mexanizmi, interfeys bloklarının formalaşması təsvir edilmiş və bu arxitektura komponentlərin vahid sistemdə qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyəti əsasında qərarların qəbulu alqoritmi işlənilmişdir. Zaman və məkandan asılı olmayaraq eyni vaxtda bir neçə həkimin operativ qərar qəbul etməsi üçün Visual Study 2019 platformasında C# proqramlaşdırma dilində reallaşdırılan diaqnostik sistemin veb texnologiyalarla integrasiyası məsələsi həll edilmişdir.

Açar sözlər— *hepatosellulyar karsinoma; diaqnostik sistem; bilik bazası; biliklərin təsvirinin produksiya modeli; veb texnologiyalar.*

I. GİRİŞ

Xərçəng xəstəlikləri arasında HSK rastgəlmə tezliyinə görə 5-6-cı yerdədir. Hər il dünyada təxminən bir milyona yaxın insanda HSK tapılır [1]. HSK çoxlu sayda müayinə verilənləri və bu verilənlərin kliniki əlamətləri (hər bir konkret hal üçün müxtəlif dərəcələrlə ifadə olunan) ilə xarakterizə olunur. Kliniki əlamətlərin giriş verilənlərinin qiymətlərinin kombinasiyasından asılı olaraq pasiyentin kliniki vəziyyəti təyin edilir. Kliniki əlamətlərin qiymətlərinin müxtəlif kombinasiyaları pasiyentin vəziyyətinin kritikliyini ifadə edən mümkün situasiyalar çoxluğunu formalaşdırır və HSK-nın mərhələsi təyin edilir. Beləliklə, kliniki əlamətlərin müxtəlif kombinasiyalarına uyğun olaraq HSK-nın mümkün kliniki situasiyaları yeddi mərhələ (HSK-nın 7 mərhələsi var: IA, IB, II, IIIA, IIIB, IVA, IVB) üzrə təsniflənir, bu da diaqnostik qərarlar qəbul etməyə və müvafiq müalicə təyin etməyə imkan yaradır [1, 2]. Müayinə verilənlərinin bütün kliniki əlamətlərinin kombinasiyalarında kliniki əlamətlərin sayının və onların qiymətlərinin dəyişmə diapazonunun, kəmiyyət göstəriciləri ilə yanaşı həm də keyfiyyət xarakteristikalarının nəzərə alınması çoxlu sayda mümkün situasiyaları formalaşdırır. HSK-nın yaranmış situasiyaya uyğun mərhələsinin operativ identifikasiyası həkimlərdən böyük səy, vaxt və diqqət tələb edir, bəzən isə həkim

səhvlərini qaçılmaz edir [3–5]. Sadalanan problemlərin həlli, eyni zamanda həkimlərin üzərinə düşən gərginliyin azaldılması, tibbi qərarların dəqiqliyinin və operativliyinin artırılması süni intellekt texnologiyalarına əsaslanmaqla HSK-nın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən sistemin işlənilməsini aktuallaşdırır. Qərarların qəbulu üçün daha səmərəli vasitə təcrübəli həkimlərin biliklərinə əsaslanan intellektual sistemlərin işlənməsidir. Buraya süni intellekt sistemlərinin yayılmış növlərindən biri olan ekspert sistemlər aiddir [6, 7]. Bu sistemlərin konkret xəstəlik ilə bağlı həkim-ekspertin bilik və təcrübəsini əks etdirməsi faktı, onları müalicə-diaqnostik qərarların qəbulunun dəstəklənməsi üçün zəruri vasitəyə çevirir.

Hazırda tibbi seqmentdə HSK-nın diaqnostikası, onun hansı mərhələdə olmasının təyini ilə bağlı bir sıra yanaşmalar, metodlar mövcuddur. Onlardan biri yerli həkim-mütəxəssislərimizin təklif etdikləri yanaşmadır [1]. Bu yanaşmanın digərlərindən üstünlüyü HSK-nın mərhələlər üzrə təsnifləndirilməsində şişin yayılma dərəcəsi ilə yanaşı, həm də qaraciyərin funksional vəziyyətinin və orqanizmin ümumi halının nəzərə alınmasıdır. Hazırkı tədqiqatda bu yanaşma əsasında HSK-nın mərhələsinin təyini üçün həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən intellektual sistemin yaradılması və onun onlayn mühitdə istismarı ilə bağlı problemlərin həllinə baxılmışdır.

II. ƏLAQƏLİ ƏDƏBİYYATIN İCMALI

Bugün informasiya texnologiyalarının və süni intellekt metodlarının tətbiqi ilə tibbin müxtəlif sahələrində həkim qərarlarının qəbulunun dəstəklənməsi sistemlərinin yaradılması sahəsində ənənəvi metodologiya formalaşsa da [6], ədəbiyyatda HSK-nın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən instrumental vasitələrə rast gəlinmir.

[7]-də zəruri kompüter vasitəsi kimi lokal mühitdə həkim qərarlarının qəbul edilməsini dəstəkləyən sistemin funksionallaşma prinsipləri təqdim edilmişdir. Sistem qaraciyər xəstəliklərinin diaqnostikası üzrə ekspert-həkimin bilikləri əsasında formalaşdırılmış 28 qaydadan ibarət bilik bazası, nəticəçixarma bloku və interfeysdən ibarətdir. Lakin bu ekspert sistemdə ümumilikdə qaraciyərin xəstə olması ilə bağlı diaqnostik qərarların qəbulu prosesinin avtomatlaşdırılması məsələsinin həllinə baxılmışdır və qaraciyərin hansısa konkret xəstəliyi, məsələn, hepatit, piylənmə, siroz, HSK ilə bağlı qərarların qəbulu prosesi dəstəklənmir. Digər tərəfdən, sistemin Internet mühitdə funksionallaşmasını təmin etməklə ekspert sistemə əlyətərlik

üçün zaman və məkan məhdudiyyətlərinin aradan qaldırılması məsələlərinə də baxılmamışdır.

[3]-də, həllər ağacının qurulması əsasında HSK-nın mərhələsinin təyini sisteminin yaradılması prinsipləri təklif edilmişdir. [8, 9]-da HSK-nın diaqnozu üçün istifadə edilən parametrlərin çoxfaktorlu olması, özlərini zəif və qeyri-tipik əlamətlərlə büruzə verməsi, informasiyanın natamamlığı və qeyri-dəqiqliyi əsaslandırılmış, qərarların qəbulunun qeyri-müəyyənlik şəraitində baş verdiyi göstərilmiş, süni intellekt texnologiyaları vasitəsilə təcrübəli həkim-ekspert bilikləri əsasında HSK-nın mərhələlərinin təyini sisteminin işlənilməsinin zəruriliyi əsaslandırılmışdır. Bu məqsədlə [8]-də HSK-nın mərhələlərinin təyini üçün qeyri-səlis məntiq və biliklərin təsvirinin produksiya modeli əsasında qeyri-səlis qaydalara əsaslanan sistemin konseptual modeli verilmişdir. [9]-da HSK-nın mərhələlərinin təyini üçün biliklərin produksiya modeli əsasında qaydalara transformasiyası, diaqnostik sistemin bilik bazasının formalaşması mexanizmləri işlənilmişdir. Bu tədqiqatların məntiqi davamı HSK-nın diaqnostikası üçün ekspert sistemin funksionallaşma prinsiplərinin işlənilməsi olmuşdur [10]. Lakin, bu tədqiqatlarda sistemin İnternet mühitdə funksionallaşmasını təmin etməklə ekspert sistemə onlayn əlyətərlik, sistemin hasil etdiyi qərarların istifadəçiyə çatdırılmasında, zaman və məkan məhdudiyyətlərinin aradan qaldırılması məsələlərinə baxılmamışdır.

Hazırkı məqalənin məqsədi HSK-nın mərhələsinin diaqnostikasını dəstəkləyən, zaman və məkandan asılı olmayaraq eyni vaxtda bir neçə həkimin operativ qərar qəbul etməsinə yardım edən ekspert sisteminin yaradılması üçün alqoritmin işlənməsidir.

III. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ

Qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün HSK-nın diaqnostikasını, yəni HSK-nın bütün mümkün kliniki situasiyalarının IA, IB, II, IIIA, IIIB, IVA, IVB mərhələləri üzrə təsnifləndirilməsini dəstəkləyən, mərhələnin identifikasiyası ilə bağlı onlayn mühitdə operativ qərarlar qəbul edilməsinə, zaman və məkandan asılı olmayaraq eyni vaxtda bir neçə həkimə pasiyentin kliniki vəziyyətinin cari obrazına uyğun formulaları generasiya etməyə imkan verən ekspert sisteminin işlənilməsi və praktiki reallaşdırılması məsələlərinin həlli nəzərdə tutulur.

HSK-nın diaqnostikası ekspert sistemini təşkil edən arxitektura komponentlər: verilənlər bazası (VB), bilik bazası (BB), məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi (MNM) blokundan və istifadəçi ilə sistem arasında qarşılıqlı ünsiyyəti təmin edən interfeysdən ibarətdir. Bu komponentlər qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərdikdə sistemin yaradılmasına və onun veb texnologiyalarla inteqrasiyası nəticəsində nəzərdə tutulan məqsədə nail olmaq mümkündür. Beləliklə, məsələnin həlli aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir.

A. HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin verilənlər bazasının yaradılması

HSK-nın diaqnostikası ekspert sistemində bilik mənbəyi olaraq yerli həkim mütəxəssislərimizin biliklərinə və diaqnostik qərarların qəbulu üçün təklif etdikləri müəllif yanaşmasına istinad edilmişdir [1]. Bu yanaşmaya görə HSK-nın hansı mərhələdə olması aşağıdakı 5 müayinə veriləni (giriş parametrləri) əsasında təyin edilir: 1) törəmənin sayı; 2)

törəmənin ölçüsü; 3) damar invaziyası; 4) limfa düyünü; 5) uzaq metastazın olması. Hər bir müayinə veriləni müxtəlif kliniki əlamətlərlə təyin edilir və onların siyahısı, şərti işarələnmələri cədvəl 1-də verilmişdir.

CƏDVƏL 1. MÜAYİNƏ VERİLƏNLƏRİ, ONLARIN KLİNİKİ ƏLAMƏTLƏRİ VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏNMƏLƏRİ

Müayinə veriləni	Müayinə verilənlərinin kliniki əlamətləri	Kliniki əlamətlərin şərti işarələnməsi
Törəmənin sayı (t1)	Tək törəmə	t1a
	Çoxsaylı törəmə	t1b
Törəməni ölçüsü (t2)	2sm-ə bərabər və ya kiçik	t2a
	2sm-dən böyük	t2b
	5sm-dən kiçik	t2c
	5sm-dən böyük	t2d
	istənilən ölçüdə	t2e
Damar invaziyası (t3)	damar invaziyası yoxdur	t3a
	damar invaziyası vardır	t3b
	portal venanın böyük şaxələrinə invaziya var	t3c
	hepatik venaya invaziya var	t3d
	yaxın orqanlara (ödə kisəsindən başqa) invaziya var	t3e
	peritona perforasiya var	t3f
Limfa düyünü (N)	limfa düyünü təyin edilmir	Nx
	limfa düyünündə metastaz yoxdur	N0
	limfa düyünündə metastaz var	N1
Uzaq metastaz (M)	uzaq metastaz yoxdur	M0
	uzaq metastaz var	M1

HSK-nı xarakterizə edən müayinə verilənləri və onların cari kliniki əlamətlərini yadda saxlayan aşağıdakı 3 cədvəldən ibarət ekspert sisteminin verilənlər bazası (işçi yaddaş) yaradılır:

- 1) törəmələrin sayı, ölçüsü və damar invaziyası haqqında məlumatlar;
- 2) limfa düyünləri ilə bağlı məlumatlar;
- 3) törəmələrin orqanizmdə metastaz verməsi ilə bağlı məlumatlar.

B. HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin bilik bazasının yaradılması

Törəmənin sayı (t1), ölçüsü (t2) və damar invaziyası (t3) müayinə verilənlərinin cədvəl 1-də göstərilən kliniki əlamətlərinin bir-biri ilə 9 standart kombinasiyası mümkündür. Bu kombinasiyaların hər biri HSK ilə bağlı (T1a; T1b; T2a; T2b; T3; T4a; T4b; T4c; T4d) kliniki vəziyyətlərdən birinə uyğundur. Kliniki vəziyyətlərin limfa düyününün üç kliniki əlaməti (Nx, N0, N1) və uzaq metastazın iki kliniki əlaməti (M0, M1) ilə kombinasiyasından 54 (9x3x2) mümkün situasiya yaranır və onların hər biri HSK-nın 7 mərhələsindən birinə uyğundur [1, 2].

Beləliklə, 5 müayinə veriləninin kliniki əlamətləri əsasında HSK-nın hansı mərhələdə olmasının təyini ilə bağlı ekspert biliklərinin (fakt və mühakimələrin) qaydalara transformasiyası aşağıdakı mərhələlərlə yerinə yetirilir.

Mərhələ 1. HSK ilə bağlı kliniki vəziyyətin təyini. Törəmənin sayı (t1), ölçüsü (t2) və damar invaziyası (t3) müayinə verilənlərinin mümkün kliniki əlamətləri əsasında formalaşan T – kliniki vəziyyətlərini aşağıdakı kimi ifadə edək:

$T = \langle T1a; T1b; T2a; T2b; T3; T4a; T4b; T4c; T4d \rangle$.

Təcrübəli həkimin (ekspertlər) biliyinin modelləşdirilməsi üçün “Əgər–Onda” tipli qaydalara əsaslanan, qaydalar toplusunu “Əgər **şərt** (antisedent), Onda **nəticə** (konsekvent)” kimi interpretasiya etməklə bilik bazasını formalaşdıran produksion model seçilmişdir. Burada şərt dedikdə, VB-də saxlanılan hər hansı bir cümlə – nümunə nəzərdə tutulur və onun əsasında BB-də axtarış aparılır, nəticə isə – axtarışın uğurlu sonunda yerinə yetirilən fəaliyyətdir. Məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi VB-də olan verilənlərin cari qiymətlərinə uyğun qaydaları istifadə edir. Yerinə yetirilən məsələnin xarakterindən və intellektual sistemin mahiyyətindən asılı olaraq bu qaydalar “şərt – qəbul olunan qərar”, “vəziyyət – qəbul olunan qərar”, “şərt – nəticə” və s. kimi də interpretasiya oluna bilər.

Biliyin təsvirinin produksiya modelinə uyğun olaraq 9 kliniki vəziyyətlə bağlı həkim-ekspertlərdən alınan bilik (fakt, mühakimə, evristika) cədvəl 1-ə istinad etməklə aşağıdakı qaydalar şəklində ifadə edilir və onlar əsasında sistemin BB formalaşdırılır:

Qayda 1. If (t1 is t1a) and (t2 is t2a) and (t3 is t3a) Then T is T1a;

Qayda 2. If (t1 is t1a) and (t2 is t2b) and (t3 is t3a)) Then T is T1b;

Qayda 3. If (t1 is t1a) and (t2 is t2b) and (t3 is t3b) Then T is T2a;

Qayda 4. If (t1 is t1b) and (t2 is t2c) and ((t3is t3a) or (t3 is t3b)) Then T is T2b;

Qayda 5. If (t1 is t1b) and (t2 is t2d) and ((t3is t3a) or (t3 is t3b)) Then T is T3;

Qayda 6. If ((t1 is t1a) or (t1 is t1b)) and ((t2 is t2a) or (t2 is t2b) or (t2 is t2c) or (t2 is t2d)) and (t3 is t3c) Then T is T4a;

Qayda 7. If ((t1 is t1a) or (t1 is t1b)) and ((t2 is t2a) or (t2 is t2b) or (t2 is t2c) or (t2 is t2d)) and (t3 is t3d) Then T is T4b;

Qayda 8. If ((t1 is t1a) or (t1 is t1b)) and ((t2 is t2a) or (t2 is t2b) or (t2 is t2c) or (t2 is t2d)) and (t3 is t3e) Then T is T4c;

Qayda 9. If ((t1 is t1a) or (t1 is t1b)) and ((t2 is t2a) or (t2 is t2b) or (t2 is t2c) or (t2 is t2d)) and (t3 is t3f) Then T is T4d.

Yuxarıdakı qaydaların birinci – “vəziyyət, şərt” hissəsi kliniki əlamətlərin giriş verilənləri və yaranan vəziyyətə uyğun həkim mülahizələrini əks etdirir, ikinci – “qəbul olunan qərar, nəticə” hissəsi yaranmış kliniki vəziyyətlə bağlı həkim-ekspertlərin qəbul etdiyi qərar və ya nəticəyə uyğundur.

Mərhələ 2. HSK-nın mərhələsinin təyini ilə bağlı ekspert biliklərinin qaydalara transformasiyası. Kliniki vəziyyətlərin (9 mümkün hal), limfa düyününün (N) (3 mümkün hal) və uzaq metastazın (M) (iki mümkün hal) kliniki əlamətləri əsasında formalaşan 54 mümkün kliniki situasiyanın hər biri həkim-ekspertlər tərəfindən qiymətləndirilir və HSK-nın 7 mərhələsi üzrə təsnifləndirilir.

Aşağıda həkim-ekspertlərin 54 mümkün situasiyanın HSK-nın 7 mərhələsi üzrə təsnifləndirilməsi ilə bağlı

mühakimələrini IF-THEN qaydaları ilə təsvir edilən çıxarış modeli əsasında aşağıdakı 7 qayda formalaşdırılır və sistemin BB-na daxil edilir:

Qayda 10. If (T is T1a) and (N is N0) and (M is M0) Then HCC staging is IA;

Qayda 11. If (T is T1b) and (N is N0) and (M is M0) Then HCC staging is IB;

Qayda 12. If ((T is T2a) or (T is T2b)) and (N is N0) and (M is M0) Then HCC staging is II;

Qayda 13. If (T is T3) and (N is N0) and (M is M0) Then HCC staging is IIIA;

Qayda 14. If ((T is T4a) or (T is T4b) or (T is T4c) or (T is T4d)) and (N is N0) and (M is M0) Then HCC staging is IIIB;

Qayda 15. If ((T is T1a) or (T is T1b) or (T is T2a) or (T is T2b) or (T is T3) or (T is T4a) or (T is T4b) or (T is T4c) or (T is T4d)) and (N is N1) and (M is M0) Then HCC staging is IVA;

Qayda 16. If ((T is T1a) or (T is T1b) or (T is T2a) or (T is T2b) or (T is T3) or (T is T4a) or (T is T4b) or (T is T4c) or (T is T4d)) and ((N is Nx) or (N is N0) or (N is N1)) and (M is M1) Then HCC staging is IVB.

Beləliklə, HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin BB-sı 16 qaydadan ibarətdir, onlardan 9 qayda kliniki vəziyyətin təyini və 7 qayda HSK-nın mərhələsinin təyini ilə nəticələnir.

C. HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin məntiqi nəticə çıxarma mexanizminin formalaşdırılması

Sistemin məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi 4 altmoduldan təşkil olunur: müayinə verilənlərinin emalı modulu (MVEM), nəticənin formalaşdırılması modulu (NFM), HSK-nın təyin edilmiş mərhələsinə uyğun sxemin formalaşması modulu (SFM), HSK-nın təyin edilmiş mərhələsinin formulunun formalaşması modulu (MFFM). Daxil olan cari giriş verilənləri əsasında MVEM-də yeni fakt formalaşır, həmin faktın BB-dəki qaydaların antisedent (şərt) hissəsi ilə tutuşdurulması və uyğunluq halı təsdiqləndikdə həmin qaydanın işə düşməsi NFM-də reallaşır.

İşə düşən qaydaya uyğun sxemin alınması və onun (qaydanın) konsekvent (nəticə) hissəsinin interfeys blokuna ötürülməsi SFM vasitəsilə, sxemə daxil olan kliniki əlamətlərin şərti işarələmələrinə uyğun formulanın alınması və bu formulun interfeys blokuna ötürülməsi MFFM vasitəsilə yerinə yetirilir.

D. HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin interfeys bloku

İnterfeys istifadəçi-həkim ilə ekspert sistem arasında ünsiyyəti təmin etmək üçündür. Bu blok ekranın idarə olunması, ekspert sistemlə dialoqun təşkili, sistemə ilkin verilənlərin daxil edilməsi və nəticələrin istifadəçiyə çatdırılması funksiyalarını yerinə yetirir (şəkil 1–4).

E. Sistemin reallaşdırılması və veb texnologiyalarla integrasiyası

Şəbəkə mühitində istifadəçilər üçün nəzərdə tutulmuş HSK-nın diaqnostikası sistemi obyekt yönümlü proqramlaşdırma dili olan C#-də işlənmişdir. C# masaüstü və veb proqramlar, mobil proqramlar, Unity əsasında oyunlar,

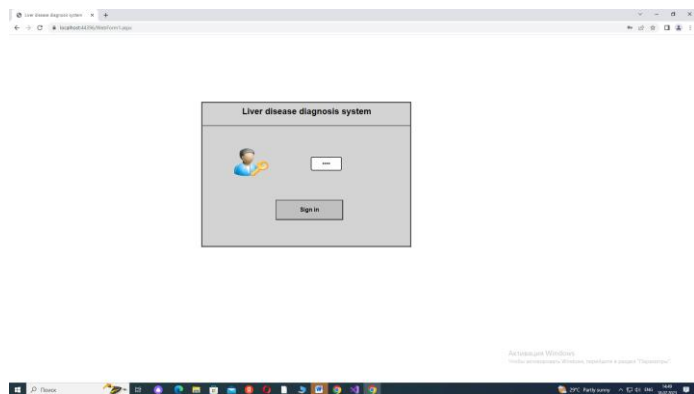
Microsoft Azure-da bulud proqramları, verilənlər bazası ilə işləmək üçün proqramlar daxil olmaqla geniş çeşiddə proqramların işlənilib hazırlanmasında istifadə olunur. C# müxtəlif platformalarda istifadə olunan çox çevik proqramlaşdırma dilidir. Microsoft kampaniyası tərəfindən xüsusi olaraq C# proqramlaşdırma dilində müxtəlif tətbiqi proqramların işlənməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Visual Studio mühiti proqramların yaradılmasını, sazlanmasını və sınaqdan keçirilməsini asanlaşdırır. HSK-nın diaqnostikası sistemi VisualStudio 2019 mühitində tətbiqi proqramlara müxtəlif xidmətləri təqdim edən .NET Framework proqramlaşdırma platformasında işlənməmişdir. Bu platforma tətbiqi proqramların işlənməsinin konkret sahələri, məsələn, ASP.NET veb-tətbiqlər üçün, ADO.NET verilənlərə əlverişlilik üçün və Windows Communication Foundation xidmətlərə (servislərə) istiqamətlənmiş proqramlar üçün nəzərdə tutulmuş çoxlu sayda standart kitabxanalardan ibarətdir. O fayllarla, şəbəkə ilə, verilənlər bazası ilə işləmək üçün müxtəlif alətləri özündə birləşdirir.

HSK-nın diaqnostikası sistemi NET.Framework platformasının bir hissəsi olan və dinamik saytların və veb tətbiqlərin işlənməsi üçün istifadə olunan ASP.NET platformasında işlənməmişdir.

IV. SISTEMIN İŞLƏMƏ PRINSİPLƏRİ

Pasiyentin HSK ilə bağlı kliniki əlamətlərinə görə HSK-nın hansı mərhələdə olduğunu təyin etmək üçün istifadəçi-həkim İnternet mühitdə <http://cerrahiplatforma-001-site2.atempurl.com/WebForm1.aspx> linkinə giriş etməklə sistemə daxil olur və giriş pəncərəsi açılır (şəkil 1).

Parol daxil edildikdən sonra HSK diaqnostik ekspert sisteminə daxil olan istifadəçi-həkimin qarşısında şəkil 2-dəki pəncərə açılır. Bu interfeys pəncərəsi hər biri HSK-nın xarakteristikalarından birinə uyğun olan çoxlu sayda pəncərədən ibarətdir. Hər bir pəncərə aktivdir və istifadəçi-həkimə real zamanda cari kliniki situasiyaya uyğun müayinə verilənlərini daxil etməyə imkan verir.



Şəkil 1. Onlayn mühitdə HSK diaqnostik ekspert sisteminə giriş pəncərəsi.

Hepatosellular karsinomanın mərhələsinin təyini

Törəmələrin sayı	5
Törəmələrin ölçüsü (ən böyüyünün)	3.7 sm.
Damar invaziyası	Yoxdur Var
Portal venanın böyük şaxələrinə invaziya	Yoxdur Var
Hepatik venaya invaziya	Yoxdur Var
Yaxın orqanlara (ödə kisəsindən başqa) invaziya	Yoxdur Var
Peritone perforasiya	Yoxdur Var
Limfa düyünü	Metastaz yoxdur Metastaz var
Uzaq metastaz	Yoxdur Var

Şəkil 2. HSK-nı xarakterizə edən müayinə verilənləri və kliniki əlamətləri əks etdirən interfeys pəncərəsi.

Pasiyentin müayinə verilənlərinin cari qiymətləri açılan interfeys pəncərəsindən sistemə daxil edilir və “Diaqnostik nəticə” düyməsi sıxılır (şəkil 3).

Sistemə daxil edilmiş kliniki əlamətlər VB-də qeydə alınır. Bu verilənlər həm də MNM-də MVEM-ini formalaşdırır. Sonuncu BB-dəki qaydaların şərt hissəsi ilə tutuşdurulur və üs-üstə düşmə halı baş verdikdə həmin qaydanın nəticə (HSK-nın hansı mərhələdə olması mərhələsi) hissəsi MNM-də olan NFM-də qeydə alınır.

Formalaşmış nəticəyə uyğun olan qayda əsasında MNM-də HSK-nın təyin edilmiş mərhələsinin sxemi də müəyyənəşdirilir və SFM vasitəsilə interfeys pəncərəsinə ötürülür (şəkil 4).

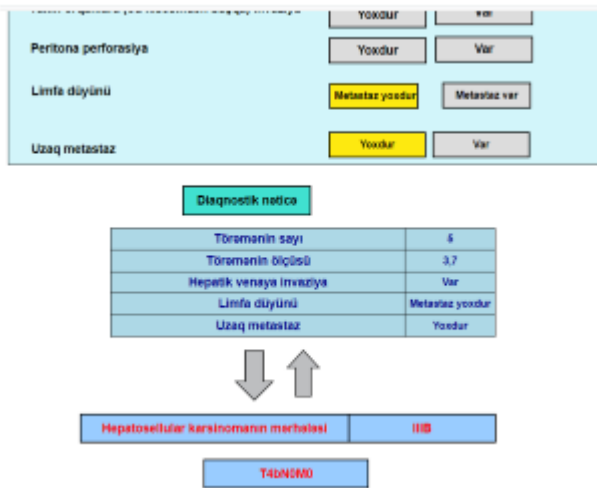
Cədvəl 1-dəki şərti işarələnmələr və Qayda 1 – Qayda 9 əsasında HSK-nın təyin edilmiş mərhələsinin formulası MFFM vasitəsilə təyin olunur, MNM-də qeydə alınır və interfeysə ötürülür.

MNM-də qeydə alınmış HSK-nın mərhələsinin sxemi (müayinə verilənləri və onların cari qiymətləri), nəticə (“HSK-nın mərhələsi”), HSK-nın mərhələsinin formulası (müayinə verilənlərinin kliniki əlamətlərinə uyğun formalaşmış kombinasiya) interfeys vasitəsi ilə istifadəçiyə təqdim edilir.

Hepatosellular karsinomanın mərhələsinin təyini

Törəmələrin sayı	5
Törəmələrin ölçüsü (ən böyüyünün)	3.7 sm.
Damar invaziyası	Yoxdur Var
Portal venanın böyük şaxələrinə invaziya	Yoxdur Var
Hepatik venaya invaziya	Yoxdur Var
Yaxın orqanlara (ödə kisəsindən başqa) invaziya	Yoxdur Var
Peritone perforasiya	Yoxdur Var
Limfa düyünü	Metastaz yoxdur Metastaz var
Uzaq metastaz	Yoxdur Var

Şəkil 3. Müayinə verilənlərinin cari qiymətlərinin sistemə daxil edilməsini nümayiş etdirən interfeys pəncərəsi.



Şəkil 4. HSK-nın hansı mərhələdə olması ilə bağlı nəticənin və HSK-nın mərhələsinin formulasının istifadəsiyə çatdırılması üçün interfeys pəncərəsi.

Şəkil 4-də göstərilən hal diaqnostik sistemin “HSK IIIB mərhələsindədir” qərar variantına uyğundur. Bu qərarın formulasında HSK-nın kliniki vəziyyətinin T4b ilə ifadə olunduğu göstərilir və bu qərar Qayda 7 və Qayda 14-ün aktivləşməsi nəticəsində alınır.

Təklif edilən arxitektura-texnologiya prinsiplər əsasında HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin reallaşdırılması Visual Study 2019 platformasında C# proqramlaşdırma dilində yerinə yetirilmişdir. Sistemin Visual Study 2019 platformasında C# proqramlaşdırma dilində reallaşdırılması ona İnternet mühitdə əlverişliliyi təmin edir, zaman və məkandan asılı olmayaraq sistemdən eyni vaxtda bir neçə həkimin istifadəsinə imkan yaradır.

V. NƏTİCƏ

Məqalədə yaradılma alqoritmi təqdim edilən ekspert sistemi HSK-nın mərhələsinin təyini ilə bağlı həkim qərarlarının dəstəklənməsi, zaman və məkandan asılı olmayaraq eyni vaxtda bir neçə həkimin operativ qərar qəbul etməsinə yardım etmək üçündür, arxitektura komponentləri verilənlər bazası, bilik bazası, nəticə çıxarma mexanizmi və interfeys bloklarından ibarət olan sistem Visual Study 2019 platformasında C# proqramlaşdırma dilində reallaşdırılmış və veb texnologiyalar əsasında İnternet mühitdə yerləşdirilmişdir.

HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin Azərbaycan Tibb Universitetinin I Cərrahi xəstəliklər kafedrasının həkim-mütəxəssislərinin iştirakı ilə keçirilən sınaqları zamanı onun kütləvi istifadə üçün yararlı olduğu təsdiqlənmiş və klinikanın saytında diaqnostik ekspert sistemə keçid linki (<http://cerrahiplatforma-001-site2.atempurl.com/WebForm1.aspx>) yerləşdirilmişdir.

İSTINADLAR

- [1] N. Y. Bayramov, Qaraciyərin Cərrahi Xəstəlikləri. Bakı: Print-Qismət, 2012. 327 s.
- [2] J. A. Marrero, L. M. Kulik, C. B. Sirlin, et al. “Diagnosis, staging, and management of hepatocellular carcinoma: 2018 practice guidance by the American Association for the Study of Liver Diseases”, *Hepatology*, vol. 68, no. 2, pp. 723–750.
- [3] M. H. Məmmədova, N. Y. Bayramov, Z. Q. Cəbrayilova, M. I. Manaflı, M. R. Hüseynova, “Hepatosellülar karsinomanın mərhələlərinin təyini üçün intellektual sistemin işlənilməsi prinsipləri”, *İnformasiya texnologiyaları problemləri*, №1, s. 3–14, 2021.
- [4] J. R. Jennifer, L. Brit, “Suffering in Silence: Medical Error and its Impact on Health Care Providers”, *The Journal of Emergency Medicine*, vol. 54, no. 4, pp. 402–409, 2017.
- [5] M. A. Makary, M. Daniel, “Medical error-the third leading cause of death in the US”, *British Medical Journal*, vol. 353, i2139, 2016. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.i2139>
- [6] Российский патент 2021 года по МПК G16H10/60 G16H50/20 «Система для поддержки принятия врачебных решений» RU2752792C1.
- [7] M. Mirmozaffari, “Developing an expert system for diagnosing liver diseases”, *European Journal of Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 3, March 2019. <https://www.ej-eng.org/index.php/ejeng/article/view/1168/462>
- [8] M. Mammadova, N. Bayramov, Z. Jabrayilova, “Development of the principles of fuzzy rule-based system for hepatocellular carcinoma staging”, *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 3, pp. 3–13, 2021. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001829>
- [9] M. H. Mammadova, N. Y. Bayramov, Z. G. Jabrayilova, M. I. Manaflı, M. R. Huseynova, “Knowledge transformation in the intelligent system for hepatocellular carcinoma staging” *Proceedings of the 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA'2022)*, 24-26 August 2022, Baku, Azerbaijan, vol.1, pp. 318-321.
- [10] M. H. Mammadova, N. Y. Bayramov, Z. G. Jabrayilova, M. I. Manaflı, M. R. Huseynova, “Hepatosellülar karsinomanın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının dəstəklənməsi sistemi”, *Azərbaycan Tibb Jurnalı*, №4, s.163–169, 2024.

Sosial Stereotiplər və Milli Mental Dəyərlər Kontekstində Tibbi Problemlər: Xalq Təbabətindən Rəqəmsal Tibbi Folklora

Hikmət Quliyev

AMEA Folklor İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

quliyevh@mail.ru

Xülasə — Məqalədə folklorun xüsusi bir istiqaməti olan xalq təbabəti məsələsinə sosial-antropoloji folklorşünaslıq və rəqəmsal transformasiyalar aspektindən yanaşılmış problemin nəzəri-metodoloji aspektləri təhlil olunmuşdur. Folkloru sosial-antropoloji yanaşma “xalq” və “bilik” anlayışlarının dinamik, kollektiv və mədəni kontekstini araşdırmağa imkan verir. Xalq – ortaq maraqlar və dəyərlər əsasında birləşən sosial qrup olaraq ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqələr nəticəsində kollektiv bilik yaradır. Bu bilik folklorun müxtəlif sahələrində – xalq sənətkarlığı, xalq musiqisi, xalq rəqsləri və xüsusilə xalq təbabətində təcəssüm edir. Bununla yanaşı, xalq təbabəti yalnız xəstəliklərin müalicəsi deyil, həm də etnosun mədəni kimliyini, dünya görüşünü və “komfortlu” yaşam tərzini əks etdirir. Empirik müşahidələrə və çoxsaylı sınaqlara əsaslanan bu təbabət forması müasir dövrdə də aktuallığını saxlayır. Azərbaycan təbiətinin məhsulu olan dərman bitkiləri və onların istifadəsi ilə bağlı xalq təcrübəsi böyük bir məlumat bazası (“Big Data”) yaradır ki, bu biliklər müasir texnologiyalarla təhlil edilərək faydalı elmi nəticələrə çevrilə bilər.

Açar sözlər: *xalq təbabəti, rəqəmsal tibb, tibbi folklor, sosial stereotiplər, mental dəyərlər, rəqəmsal folklor*

I. GİRİŞ: PROBLEMİN QOYULUŞU

Folkloru sosial-antropoloji rəqəmsal yanaşma “xalq” və “bilik” anlayışları arasındakı münasibətlərin dinamik, kommunikativ, multikultural, lokal və global, fərd və kollektiv (sosial qrup) və s. rəqəmsal dəyərləndirilməsi üçün geniş metodoloji alətlər sistemi təqdim edir. Başqa cür desək, xalq – “ən azı iki şəxsdən” [1: 6-7] ibarət olan sosial qrup kimi özünün “ortaq, şərikli” hesab etdiyi faktorlar – maraq, mövqe, ideoloji təmayül, peşə, din, dil, etnik mənsubiyyət və s. əsasında “bilik” yaradır. Kollektiv düşüncəyə və ənənəyə əsaslanan həmin bilik insanın ətraf dünya – təbiət, cəmiyyət və s. ilə münasibətləri əsasında formalaşır. Bu baxımdan folklor xalq memarlığı, xalq meteorologiyası, xalq sənətkarlığı (xalçaçılıq, dulusçuluq, dabbaqçılıq, sazəndlik və s.) xalq mahnıları, xalq rəqsləri, xalq təbabəti və s.-ni əhatə edir. Şübhəsiz ki, praktik müşahidə və təcrübələr, qazanılan vərdişlər, formalaşan ənənələr kollektiv fantaziya və yaradıcılıq “laboratoriyasından” keçməklə sosial kommunikasiya vasitəsilə ötürülür, yayılır, variantlaşa bilər. Bu isə o deməkdir ki, müasir dövrdə rəqəmsal, məntiqi struktura, anlayışlar sisteminə malik olan elmi bilik və fənn sahələrinin qaynağı və ya mayasında bu və ya digər şəkildə olmaqla ənənəvi xalq

biliyi dayanır. Beləliklə, xalq təbabəti də kollektiv mühitdə formalaşan, ənənəvi düşüncə qəlibləri və stereotipləri vasitəsilə ötürülən, tabu, yasaq və inancla dəstəklənən müxtəlif xəstəliklərin müəyyənəşdirilməsi (diaqnostik), müalicəsi (profilaktik) və qarşısının alınması (preventiv) praktikalarını özündə ehtiva edən ənənəvi bilik xəzinəsidir. Lakin rəqəmsal, peşəkar tibbdən fərqli olaraq, xalq təbabəti//türkəçarə//xalq həkimliyi inanc psixologiyası, sosial stereotiplər və milli mentalitet üzərində qurulduğundan burada irrasional “məntiqə”, emosional “ağıla” söykənən fantaziyanın metaforik-simvolik təzahürü özünü göstərməkdədir. Ümumiləşdirərək deyə bilərik ki, xalq təbabəti, əsasən, aşağıdakı mənbələrə söykənir:

- ✓ sakral biliklər (ocaq, pir, dua və s.);
- ✓ nəsil-dən-nəsilə ötürülən təcrübə;
- ✓ kollektiv mədəni yaddaş;
- ✓ sosial stereotiplər və etnik mental dəyərlər;

Deməli, xalq təbabətində və ya türkəçarələrdə mövcud olan bilik rəqəmsal məntiqə, elmə deyil, empirik təcrübəyə inanca və yaxud inama əsaslanır. Yuxarıda fərqləndirdiyimiz kateqoriyalara nəzər salanda məlum olur ki, inanc sistemi mədəni kimliyi formalaşdırən mənbələr üzərində qurulduğundan buradakı biliklə etnos (sosial qrup) arasında emosional bağlılıqdan doğan doğmaliq, yaxınlıq mövcuddur. Daha doğrusu, milli mental dəyərlər və sosial stereotiplər fərdin sosial qrup içərisində davranış və düşüncələrini nizamlayan tabu və yasaqlar, ictimai qınaq və yargıları özündə ehtiva edir. Necə ki, dinlər, ideoloji təlim və cərəyanlar sosial mühitdəki davranış və düşüncələri konkret əhəmiyyət və hökmlərlə, norma və qaydalarla tənzimləyir, eləcə də milli mental dəyərlər və sosial stereotiplər də sosial mühitdəki davranışların əsas tənzimləyici elementləridir. Odur ki, xalq təbabəti, türkəçarə və yaxud xalq həkimliyi, təkcə bu və ya digər xəstəliklə mübarizə, narahatlıq və yaxud ağrı-acının müalicəsi, eləcə də qarşısının alınma üsulu deyil, fərdin, sosial qrupun, bütövlükdə, etnosun aid olduğu mədəni sistem, etnik-millilik kimliyi, ənənəvi dəyərlər içərisində “komfortlu” yaşam tərzidir. Alev Öztürk Merdin xalq təbabətinin hazırkı çağda da aktual olmasının səbəblərindən biri kimi “*şəhərdə yaşayan şəxslərin təbii yaşamdan izolyasiya olmaları*”-ni [5: 182] irəli sürür. Əslində kənd həyatına, arxaik əşya və simvollarla olan bu

münasibətin əsasında keçmişin ideallaşdırılması, kultlaşdırılması, keçmişə duyulan nostalgiya əsas rol oynayır.

Nümunələrə diqqət yetirək:

Uşağın başı ağrıyarsa sacarası, niyaz bişirib vermək lazımdır [3: 367];

“Uzun müddət xəstə, dili tutulan, problemlə, tutmalı (özündəngedən) və bu qəbildən olan digər adamları son anda çarə kimi torpaqdan keçirərdilər” [3: 367];

“Uşağı bələyəndən sonra əlini yerə toxundurub kürəyinə vurardılar və deyərdilər: “Yuxum sənin” [3: 374];

Göz səyriyəndə qırmızı sap qoymaq lazımdır [3: 375].

Nəzərə almaq lazımdır ki, xalq təbabəti inanc mərkəzinə - ocaq, pir, seyidin kəraməti və s.-yə söykəndiyindən onun özünəxas (türkə) çarə üsulları da vardır. Məsələn, “qurban kəsmək”. Uşaq xəstələyəndə və yaxud kritik bir vəziyyət yarananda onun sağlması, xilas olması üçün “qurban deyilir”.

Proseslərin səbəb-nəticə zəncirində dəyərləndirilməsinə, başlanğıc, ilkin səbəbin rəşional gerçəklik üzərində qurulmasına söykənən rəşmi tibbdən fərqli olaraq, xalq təbabəti eyni məntiqi əməliyyatın təməlini metafiziki, fəvqətləbi (cin vurmaq, hal aparmaq) gerçəkliklə əlaqələndirir. Səbəb-nəticə zəncirindəki bu fərq, əslində, xalq təbabətinin əsas məqsədi sağaltmaq olan rəşional tibbdən daha fərqli sosial-mədəni gerçəkliyə malik olduğunu, etnosun semiosferi, kollektiv mədəni yaddaş və təcrübəsinin, emosional-psixoloji reaksiyasının içərisində mənəlandığının göstəricisidir. Başqa cür desək, xalq təbabəti və ya türkəçarə təkcə müalicə praktikasından ibarət deyildir. Buradakı biliklər etnik mədəni sistemin müxtəlif vahidləri daxilində mənəli görünən metamənəlardan təşkil olunmuşdur. Odur ki, xalq təbabəti və ya türkəçarə ona inananların yaratdığı, istifadə etdiyi, faydasını gördüyü sosial-mədəni dəyərlər sisteminə malikdir. Təsədüfi deyildir ki, “*xalq həkimliyi başlanğıcdan bugünümüzə qədər ənənə daxilində mövcud olan məlumatlardan ibarət bir mədəni şahədər*” [5: 177].

Müasir dövrdə – səhiyyənin inkişafının hazırkı mərhələsində, ən yüksək imkanlara malik tibbi diaqnostik cihazların mövcudluğu, ciddi nəticə və sınaqlara əsaslanan rəşmi tibbi müalicə protokollarının var olduğu bir şəraitdə xalq təbabətinə, türkəçarəyə inam o qədər də sarsılmamış, əksinə, çevik, mobil, sürətli kommunikasiya imkanları hesabına, rəqəmsal-texnoloji platformaların təsiri ilə bu tipli kontentlərin, veb resursların sayı artmaqdadır. Çünki insanlararası informasiya mübadiləsi və ünsiyyətin “apogeyi” [2] hesab olunan İnternet hər cür informasiya və biliyi rəqəmsal mühitə transformasiya etdirməkdədir. Həm də nəzərə almaq lazımdır ki, İnternet sosio-texnoloji sistem olduğundan bilik, düşüncə, davranış, dəyər və ənənə daşıyıcısı olan insanları bütün potensial imkanları ilə bərabər informasiya “okeanına” gətirir. Sosio-texnoloji sistem tenokulturoloji transformasiyalar hesabına yeni mühitə, şəraitə, əlavə imkan və təsirlərə məruz qalır ki, belə bir gerçəklik spesifik, unikal, vernakular biliklərin də ortaya çıxmasına şərait yaradır. Bu gün sosial şəbəkələr, çevik rəqəmsal platformalar müxtəlif məqsəd və maraqlar ətrafında birləşən sosial qruplardan, həmin sosial qruplar isə çoxsaylı fərdlərdən təşkil olunmuşdur. Şübhəsiz ki, belə bir

gerçəklik etnik-lokal tipli xalq təbabətinə dair biliklərin virtual etno mühitlərə transformasiyasına, yəni həmin biliyi daşıyanların virtual sosial şəbəkədə yaratdığı qrupların “gündəlik” kommunikasiyasına gətirib çıxarır. Bəzən keçmişin “xoş” xatirəsi, etnosun şərikli, ortaq nostalgiyası kimi paylaşılan nəsnələr (təndir, sac, dəryaz və s.), kənd həyatını assosiasiya etdirən hər hansı bir vizual kontent sosial qrupun üzvləri tərəfindən həssaslıqla qarşılır, onların qrup kimliyini möhkəmləndirən faktor kimi çıxış edir. Eləcə də lokal etnik mühit üçün xarakterik olan müalicəvi praktika (məsələn, soyuqdəymənin keçməyi, əriştə umacı və s. ilə müalicəsi) rəqəmsal texnoloji platformaya, virtual ünsiyyət ortamına transformasiya olunur ki, son nəticədə bu proses bir tərəfdən həmin biliyin daha geniş miqyasda yayılmasına, populyarlaşmasına, digər tərəfdən isə ənənəvi mühitdən fərqli sferalara çıxaraq fərqli reaksiya və münasibətlər içərisində dəyərləndirilməsinə (bəzən ironiya predmetinə çevrilməsinə) təsir edir. Nəticə etibarilə, bu proses lokal etnik çərçivə ilə məhdudlaşan ənənəvi biliyin çulğalaşmasına, hibridləşməsinə səbəb olur. Bu həm də ənənəvi sosial-mədəni mühit daxilində sakral mənə, ezoterik mahiyyət, toxunulmazlıq daşıyan biliyin yeni diskursiv planlarda dəyərləndirilməsi prosesidir.

II. STEREOTIP REAKSIYA VƏ MENTAL DƏYƏRLƏR

KONTEKSTİNDƏ TİBBƏ MÜNASİBƏT: FOLKLORİK METAFORALAR

Təbii ki, folklor fərdin və yaxud sosial qrupun, eləcə də etnosun ənənəvi, kollektiv davranış və düşüncələrini özündə ehtiva edən əməliyyat sistemi kimi də xarakterizə oluna bilər. Məhkəndən və zamandan asılı olmayaraq, fərdlərin sosial qrup içərisində mövcudluğu və fəaliyyəti sözün, leksik vahidin cümlənin sintaktik strukturunda qazandığı funksional semantika ilə müəyyənləşdir. Linqvistik planda bu proses şəxsə, kəmiyyətə, zamana və s. görə uzlaşma ilə tənzimləndiyi kimi, sosial mühitdə də fərdlər və ya sosial qruplararası münasibətlər stereotiplər və mental dəyərlər vasitəsilə nizamlanır. Sosial stereotiplər və mental dəyərlər isə, etnosun zamanla qazandığı təcrübəyə, ənənəvi düşüncə və normalara, tabu və yasaqlara, olar-olmazlara söykənir. Təbii ki, burada ənənəvi düşüncənin, ideoloji sistemlərin, bütövlükdə, sosial təsisatların təsiri mühüm rol oynayır. Azərbaycan sosio-mədəni mühitində konkret olaraq həkim, xəstə, xəstəlik, dərman, müalicə və s. kimi anlayışların stereotiplər, mental dəyərlərdən görünən neqativ çalarlı metaforaları da mövcuddur.

Hesab edirik ki, “heç vaxt həkimə möhtac olmayasan”, “iynəyə-dərmana düşməyəsən” dua-alqışı sadəcə olaraq, qarşdakına sağlamlıq arzusunun ifadəsi deyil, həm də həkimə, iynəyə, dərmana neqativ münasibətin ifadəsidir. Həkimlərin “cəllad”, dərmanların “ximikat” (kimyəvi) olduğu barədə neqativ, stereotiplərə əsaslanan münasibət mövcuddur. Eyni zamanda antibiotiklərin, vaksinlərin insan səhhətinə ziyan vurmaı barədə yarıqlar, sosial şəbəkələrdə xəstəliklərin tibb sənayesi, dərman biznesi ilə məşğul olan qlobal şirkətlər tərəfindən yaradılması, müalicəsinin gizlədilməsi barədə konspirativ nəzəriyyələr, şəhər əfsanələri, əslində, müasir dövrümüzdə də xalq təbabəti və türkəçarəyə emosional ehtiyacın, rəşmi tibbə qarşı neqativ mövqeyin – qeyri-şüuri müqavimətin folklorik metaforalarıdır.

Əslində, rəsmi tibbə qarşı olan belə münasibət bir tərəfdən **“ev üsulu müalicə”, “təbii müalicə”, “nənəmin resepti”** və s. kimi memləşmiş ifadə və hazır qəliblərin sosial mühitdə çox sürətlə yayılmasına, alternativ müalicə kimi aktuallaşmasına, müasir dövrdə xalq təbabəti biznes infrastrukturunun formalaşmasına şərait yaradır. Hazırkı çağda, sosial şəbəkələrdə **“fenomen”, “influencer”, “life coach”** tipli fiqurların ortaya çıxması, **“özünü dinlə”, “bədənini hiss et”, “intuisiya ilə qərar ver”** kimi çağırış-şüarların meydana gəlməsi kimi faktlar da rəsmi tibbdən kənar düşüncənin, təbii yaşama və müalicəyə - xalq təbabətinə emosional ehtiyacın ifadəsidir. Başqa cür desək, müasir dövrdə sosial şəbəkələrdə, virtual sosial platformaların hesabına meydana çıxan bu tipli sosial proseslər, əslində, rəsmi tibbə qarşı sosial müqavimətin təzahürlərindəndir.

Yaxud 2019-cu ilin sonlarında başlayan və 2020-ci ilin mart ayında pandemiya kimi elan olunan Koronavirusla bağlı rəsmi tibbi protokola alternativ müalicə üsulları meydana çıxdı. Korona dönməndə, xüsusən sosial şəbəkələr vasitəsilə şəhər mifləri, konspirativ nəzəriyyələr, xalq təbabəti virusla mübarizə və müalicə **“üsulları”** istehsal olunmağa başladı. Məsələn, **“Zəncəfil koronanı sağaldır”, “Sarımsaq koronanı məhv edir”, “siqaret çəkənlər korona tutmur”** və s.

Göründüyü kimi, sosial stereotiplər və mental dəyərlərlə tənzimlənən, inanc və ənənəvi düşüncə kontekstində xüsusi dəyər qazanan xalq təbabəti, türkəçarə və yaxud xalq həkimliyi üzrə biliklər onu yaradan solumun sosial-mədəni gerçəkliyi ilə birbaşa bağlıdır. Yəni ənənəvi mədəni yaddaşda, kollektiv sosial mühitdə xəstəlik, onun müalicəsi və qarşısının alınması ilə əlaqədar biliklər sosial stereotiplərlə tənzimləndiyi həkimə, xəstəliyə münasibət də həmin düşüncə və davranış çərçivəsindədir. Fərd öz davranış və düşüncələrini aid olduğu sosial qrupun, sosial qrup isə, bütövlükdə cəmiyyətin stereotipləri ilə nizamlayır. Belə bir gerçəklik xüsusilə də qadınların sosial stereotiplərin təzyiqi və milli mental dəyərlərin təsiri ilə öz xəstəliklərini gizlətməsinə, həkimə getməməsinə, müalicənin gecikdirilməsi və həyatı təhlükələrin ortaya çıxmasına səbəb olur. Əslində **“ayıbdı”, “camaat bizə nə deyər”** və s. kimi sosial yarıqlar sosial mühitdəki mühafizəkar münasibətin ifadəsi olmaqla ənənəvi düşüncənin stereotipləri dəstəkləyən metaforlarıdır.

III. ƏNƏNƏVİ XALQ BİLİYİNİN İNTERNETƏ TRANSFORMASIYASI: XALQ TƏBABƏTİ VƏ RƏQƏMSAL TIBBİ FOLKLOR

Nəzərə almaq lazımdır ki, təbabətlə bağlı məlumatlar təkcə ənənəvi xalq biliyi şəklində deyil, eyni zamanda müxtəlif tibbnamələrdə də öz əksini tapmışdır. Belə ki, təbabətlə bağlı ənənəvi xalq biliyi tarixin müxtəlif mərhələlərində təbiblər, həkim və alimlər tərəfindən müalicə vasitəsi kimi tətbiq edilmiş, bu təcrübələri özündə ehtiva edən əlyazmalar ortaya çıxmışdır. Məsələn, 1712-ci ildə Məhəmməd Yusif Şirvani tərəfindən başqa bir mənbədən üzü köçürülən **“Tibbnamə”** əsərində **“babalarımızın müxtəlif xəstəlikləri necə müalicə etdikləri haqqında yığcam məlumat verilir”** [6: 3]. Şübhəsiz ki, istər xalq arasında şifahi şəkildə yaşayan, nəsil-dən-nəsilə ötürülərək ənənəvi tibbi biliyə çevrilən, istərsə də, ayrı-ayrı şəslər tərəfindən yazıya alınaraq əlyazmalarda bizə gəlib çatan

təbabətlə bağlı məlumatlar təkcə təcrübəyə əsaslanmır. Başqa cür desək, buradakı bilik yalnız təcrübə ilə deyil, eyni zamanda inanc və ənənə ilə tənzimlənir. Təsədüfi deyildir ki, Məhəmməd Yusif Şirvaninin **“Tibbnamə”** əsərinə **“Ön söz”** yazan M. Sultanov və A.Fərzəliyev qeyd edir ki, **“Əsərdə tez-tez *“Allahın köməyi ilə bu dərman xəstəliyi dəf edir”* ifadəsi işlənir”** [6: 3]. Hesab edirik ki, tibbnamələrdə rast gəlinən bu məqam – dini rəvayətlərdən istifadə, dua, cadu, sehr və s., əslində dini dünyagörüşlə deyil, xalq təbabətinin özünün mahiyyətə inanca, ənənəyə əsaslanmasından qaynaqlanır. Çünki burada praktikadan daha çox, solumun üzvlərinin daşdığı dünyagörüş, inanc sistemi, ənənəvi davranış, düşüncə və stereotiplərin təsiri özünü göstərir. Odur ki, ənənəvi xalq təbabəti və tibbnamələrdəki informasiyalar – xəstəliklərin diaqnostikası, müalicəsi və qarşısının alınması ilə bağlı bilik bütün hallarda sosial-mədəni mühitlə birbaşa bağlıdır. Şübhəsiz ki, XXI əsrdə virtual dünyaya **“köç”** edən, burada özünə **“ev-eşik”, “yurd-yuva”** quran, **“virtual solum”** formalaşdırılan müasir insan [4: 124] rəqəmsal dünyada özünəməxsus ənənələri, dünyagörüş və inanc sistemi, sosial-psixoloji kompleks və stereotipləri ilə mövcuddur. Bu o deməkdir ki, rəqəmsal dünyadakı insan yenə də inanc və qorxuları, emosional-psixoloji münasibəti ilə öz mövcudluğunu davam etdirir. Belə bir gerçəklik bir neçə aspektdən diqqəti cəlb edir:

Birincisi, insan öz düşüncə və davranışları, ənənəvi dünyagörüş və inancları, o cümlədən, daşdığı tibbi biliklə bərabər virtual dünyaya, rəqəmsal aləmə transformasiya olunur;

İkincisi, İnternetin sürətli kommunikasiya və çoxparametrliliyi imkanları hesabına əvvəlki mərhələlərdə daha çox lokal mühit və məkanlarda mövcud olan xalq təbabəti hazırda müxtəlif formalarda (audio, video, hipermetn, multimedia) olmaqla intəhasız şəkildə yayıla bilər;

Üçüncüsü, insan-təbiət münasibətləri çərçivəsində ortaya çıxan xalq təbabəti və türkəçarələr rəqəmsallaşmaqla unudulmaq, yox olmaq təhlükəsindən xilas olur;

Dördüncüsü, İnternetin interaktiv ünsiyyət – iştirakçı sosial şəbəkə tipologiyası hər cür informasiyanın müzakirəsi və mübadiləsinə, o cümlədən, xalq təbabəti ilə bağlı ənənəvi biliyin rəyləşdirilməsinə, əks əlaqə və geridönüşlər (feedback) zənginləşməsinə şərait yaradır;

İnternet istifadəçiləri artdıqca virtual məkan müxtəlif bölgələrə, ailə və nəsilərə xas olan müalicə praktikaları, təbabətə və türkəçarəyə dair biliklərlə zənginləşir. Nəzərə alsaq ki, hazırkı çağda İnternet, sosial şəbəkələr həm də xalq təbabəti və türkəçarə, sağlam həyat, sağlam qida, ənənəvi müalicə üsulları ilə məşğul olan, bu peşədən biznes məqsədi ilə istifadə edənlər üçün reklam, marketing və qazanc imkanı yaradır, bu halda İnternet mühiti həm də maraqlı tərəflərin məqsədli fəaliyyəti nəticəsində bu tipli resurs, informasiya və kontentlərlə dolub-daşır. Təbii ki, burada xalq təbabəti və türkəçarə üsullarından sui-istifadə edən, insanları aldatmaqla özünün maddi maraqlarını həyata keçirən fərd və qruplara da rast gəlmək mümkündür. Yaxud sosial şəbəkələrdə xalq təbabəti və türkəçarə üsullarına keçmişin qalığı, lağ-lağı, ironiya mənbəyi kimi baxan, bu tipli kontentləri ələ salan mövqeyə də rast gəlmək mümkündür. Eləcə də, bir tərəfdən

lokal mühitlərdən, digər tərəfdən isə global aləmdən gələn yeni informasiyalar xəstəliklər, onların müalicə üsulları və qarşısının alınması ilə bağlı yeni – hibridləşmiş biliklər ortaya çıxarır ki, bu da ənənədən fərqli, spesifik xarakterə malik olur. Beləliklə, ənənəvi xalq təbabətinin rəqəmsallaşması, eyni zamanda İnternetdə rəqəmsal tibbi folklorun meydana gəlməsi, bütövlükdə bu tipli informasiyaları ehtiva edən Big Data-nı formalaşdırır:

1. Ənənəvi xalq təbabəti və türkəçarə üsulları real sosial mühitdən virtual dünyaya transformasiya olunur – rəqəmsal xalq təbabəti resursları ortaya çıxır;
2. Əlyazmalanmış, “namələmiş” xalq təbabəti və türkəçarəyə dair kollektiv mədəni yaddaş rəqəmsallaşaraq virtual dünyada əks olunur;
3. Virtual sosial şəbəkələr hesabına lokaldan global doğru dəyişən xalq təbabəti ilə bağlı biliklər əks əlaqə və geridönüşlər hesabına müzakirə olunaraq rəyləşdirilir;
4. İnternetin açıq, eləcə də çoxdillli mühit olması Azərbaycan xalq təbabətinə məxsus biliyin global platformada yayılmasına şərait yaradır.

Təbii ki, Azərbaycandilli virtual mühitdə xalq təbabəti və rəqəmsal tibbi folklor üzrə meydana gələn ifrat verilənlər – Big Data onun çoxparametrlili intellektual analizi üçün də geniş imkanlar yaradır.

İlk növbədə Azərbaycandilli virtual sosial şəbəkələrdə – sosial media mühitində xalq təbabəti ilə bağlı kontentlərə verilən reaksiyaların – neqativ, pozitiv, neytral və s.-nin analizi əsasında sosial eksperimentlər aparmaq mümkündür. Əks əlaqə və geridönüşlər, yəni **rəylərin intellektual analizi əsasında** hər hansı bir xəstəliklə bağlı xalq təbabətinin təqdim etdiyi “reseptin” effektivliyini müəyyənləşdirmək mümkündür. Bütövlükdə, **rəqəmsal tibbi folklorun taksonomiyası**, yəni İnternet mühitində yaranan rəqəmsal tibbi folklorik məzmunun sistemləşdirilməsi, müxtəlif parametrlər – forma, məzmun, funksiya, sosial kontekst üzrə təsnifi aparıla bilər. Bu isə, rəqəmsal tibbi folklorun meydana gəlməsini şərtləndirən sosio-texnoloji və texno-kulturoloji amillərin, psixososial ehtiyacların anlaşılması, ənənəvi xalq təbabəti ilə rəqəmsal tibbi folklor arasında əlaqələrin müəyyənləşdirilməsi baxımından olduqca mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

NƏTİCƏ

Nəzərə almalıyıq ki, tibb, səhiyyə sahəsi birbaşa olaraq, sosial sahədir. Həkim-pasiyent münasibətləri sosial-mədəni münasibətlər sferasına daxildir. Burada yaranan sosial-mədəni mühit isə, informasiya və biliklərin müxtəlif şəkillərdə, o cümlədən yalan, şayiə və s. formada da yayılmasına şərait yaradır. Xüsusilə də burada nəzərə alınmalı məqam xəstəlik, ölüm-itim təhlükəsi və qorxusu zəminində hekayələrin, əfsanələrin, folklorik reaksiyaların ortaya çıxması məsələsidir. Qorxu, emosional gərginlik, psixoloji narahatlıq xəstəliklər barədə stereotipik reaksiyaların ortaya çıxmasına səbəb olur.

Araşdırma nəticəsində məlum olur ki, sosial stereotiplər və milli mental dəyərlər, ictimai qınaq, mühafizəkar, aqressiv reaksiyanın təsiri və təzyiqi kollektiv sosial mühitdə xəstəliyin gizlədilməsi, müalicənin gecikdirilməsi və həyatı təhlükələrin ortaya çıxması ilə nəticələnir.

“Ayıbdı”, “el içində rüsvay olarıq”, “camaat bizə nə deyər” və s. kimi sosial yargılar sosial mühitdə mövcud olan mühafizəkar münasibətin ifadəsi, ənənəvi düşüncənin stereotipləri dəstəkləyən “rıçaq”larıdır ki, bu reallıq rəsmi tibbə “ögey” münasibətində mədəni metaforası kimi qəbul edilə bilər.

Xalq təbabəti, türkəçarə, xalq həkimliyi kimi inanca, ənənəvi düşüncəyə əsaslanan müalicə praktikaları eyni zamanda özündə zəngin kollektiv mədəni yaddaş, müdrik biliyi ehtiva edir. Empirik müşahidələrin nəticəsi kimi ortaya çıxan bu tipli təbabət üsulları hazırkı çağda da öz əhəmiyyətini qoruyub saxlaya bilər.

Azərbaycan təbiətinin, ekoloji mühitinin məhsulu kimi ortaya çıxan dərman bitkiləri, bununla bağlı zəngin xalq təcrübəsi, xalq təbabəti sahəsində mövcud olan Big Data müasir dövrün intellektual analiz və emal texnologiyaları hesabına dəyərləndirilə və oradakı keyfiyyətli bilik əldə oluna bilər.

Bütövlükdə, ənənəvi bilik və düşüncə üzərində qurulan, kollektiv təbii intellektin məhsulu kimi ortaya çıxan, çoxsaylı təcrübə və sınaqlardan keçərək hazırkı çağda gəlib çatan xalq təbabəti, türkəçarə və yaxud xalq həkimliyi, təkcə xəstəliklərlə müalicə, bioloji sağlamlıq mənasını ifadə etmir, bu inanca, tabu və yasaqlara, norma və qaydalara söykənən, etnosun aid olduğu mədəni sistem, etnik-milli kimlik, ənənəvi dəyərlər içərisində “komfortlu” yaşam tərzidir.

ƏDƏBİYYAT

- [1] Dundes, A. Who are the Folk? // “Interpreting Folklore”. Bloomington: Indiana University Press, p. 1-19, 1980.
- [2] Krawczyk-Wasilewska, Violetta. Folklore in the Digital Age: Collected Essays. Foreword by Andy Ross. Lodz, 2016.
- [3] Qərbi Azərbaycan Folkloru III kitab. Bakı: Elm, 416 s., 2024.
- [4] Quliyev H. Virtual mühitdə folklor: ənənə və kommunikasiya. Bakı: Sabah, 256 s., 2018.
- [5] Mərdin Ö.A. Gelenəğin yeniden icadı: halk hekimliği ve dijital kültür ilişkisi. Dijital kültür – 2. Yeni medya-Küreselleşme-Hibridleşme-Dil-Edebiyat ve Halkbilimi araştırmaları. İstanbul: Arı Sanat, s. 177-206, 2020.
- [6] Sultanov M., Fərzəliyev A. Ön söz. Məhəmməd Yusif Şirvani. Tibbnamə. Bakı: İşiq, 192 s., 1990

A Multifunctional and Multilingual Educational Surgical Platform for Medical Professionals

Nuru Bayramov¹, Aygun Ibrahimova², Ragif Ismayilov³, Agshin Pashayev⁴

^{1,2}Azerbaijan Medical University I Department of Surgical Diseases, Baku, Azerbaijan

^{3,4}Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹nurubay2006@yahoo.com, ²aibrahimova@amu.edu.az, ³raqif.ismailov@gmail.com, ⁴pasayev_aqsin@mail.ru

Abstract: Surgical Platform (www.baley.academy) is a multilingual, digital medical education platform created to enhance surgical training and clinical knowledge among medical professionals globally. This article explores the design, functionality, and educational potential of Surgical Platform, emphasizing its value in overcoming linguistic and regional barriers in medical learning. With its multilingual support in over eight languages and a broad range of content spanning anatomy, differential diagnosis, surgical procedures, and disease management the platform addresses the global need for accessible, structured, and high-quality medical education. This paper also discusses the potential of Surgical Platform in contributing to global surgical competency and calls for institutional partnerships to broaden its reach and credibility.

Keywords: Multilingual education; Surgical platform; Digital learning; Medical education; Anatomy; Diagnosis; Global health.

I. INTRODUCTION

Modern surgical education faces a host of global challenges, including unequal access to training resources, language barriers, and limited exposure to up-to-date clinical knowledge in developing countries. With the increasing importance of remote learning technologies, multilingual e-learning platforms have emerged as a solution to address educational gaps in medical training.

The Surgical Platform (www.baley.academy) was developed as a response to these challenges by a multidisciplinary team led by Prof. Dr. Nuru Bayramov, corresponding member of the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS) and Head of the Department of Surgical Diseases I of Azerbaijan Medical University. The development team also included experts from the Institute of Information Technologies of ANAS Academician Rasim Aliquluyev, Ragif Ismayilov, and Agshin Pashayev highlighting the collaborative synergy between clinical and information technology domains.

Officially presented to the public on September 17, 2024, at the Educational-Surgical Clinic of Azerbaijan Medical University [1, 2], Surgical Platform offers multilingual, evidence-based, and easily accessible educational content for medical professionals, including students, residents, and practicing surgeons. The platform was officially adopted as an educational portal by decision of the Scientific Council of Azerbaijan Medical University on April 29, 2025, solidifying its institutional role in formal medical education.

This article evaluates the educational scope and structural design of Surgical Platform and explores its current and future impact on global medical education.

II. BACKGROUND

The global landscape of medical education is undergoing rapid transformation, driven by technological innovation, increased mobility of healthcare professionals, and the urgent need for equitable access to high-quality training. In many regions, especially low- and middle-income countries (LMICs), aspiring surgeons and clinicians face significant barriers to education, including limited access to updated learning resources, language constraints, and insufficient institutional infrastructure. Traditional medical curricula often fail to accommodate learners from diverse linguistic and cultural backgrounds, further exacerbating global disparities in healthcare knowledge and delivery.

In this evolving context, the Surgical Platform represents an important innovation. Initiated by AMU and the Institute of Information Technologies, it was conceived to bridge both technological and pedagogical divides by offering a scalable, multilingual, and clinically relevant platform. It emerges at the intersection of global health, digital transformation, and medical pedagogy, offering a structured repository of knowledge in more than nine languages. Its official institutional adoption underscores its credibility and role as a formal academic resource within Azerbaijan and, increasingly, beyond.

The rise of digital platforms has introduced new opportunities to democratize education through scalable, flexible, and user-centered tools. In particular, e-learning systems that support multilingual content can bridge gaps in comprehension, foster inclusive learning environments, and promote knowledge retention across different geographies. Against this backdrop, the Surgical Platform (www.baley.academy) was developed to provide an innovative and multilingual solution to global surgical education needs.

This platform emerges at the intersection of global health, digital transformation, and medical pedagogy, offering a structured repository of clinically relevant knowledge in more than eight languages. With an emphasis on accessibility, cultural inclusivity, and continuous professional development, Surgical Platform seeks to empower the next generation of surgeons and medical professionals worldwide.

III. PLATFORM DESIGN AND CONTENT ORGANIZATION

Surgical Platform is designed with a user-friendly interface that categorizes content into key medical disciplines. The primary sections include:

- Anatomy
- Differential Diagnosis
- Surgical Techniques
- Conservative Treatments
- Disease Management

Each section is structured for easy navigation, allowing users to search by specialty, system, or clinical topic. The platform employs a clean, responsive design optimized for use on desktop and mobile devices, which is particularly valuable in low-resource settings where mobile access is more common than desktop availability.

Despite its strengths, there is room for improvement in the platform's search functionality. Users would benefit from more intuitive filters, keyword prediction, and structured search tags to reduce time spent locating specific information.

IV. MULTILINGUAL FUNCTIONALITY: A CORNERSTONE FEATURE

The most distinguishing feature of Surgical Platform is its multilingual support, which significantly broadens its accessibility. Currently, content is available in the following languages:

- Azerbaijani
- English
- Russian
- Turkish
- German
- Uzbek
- Kazakh
- Kyrgyz

This multilingual capability ensures that learners from diverse regions can access high-quality content in their native language. In regions where English proficiency is limited, such as parts of Central Asia or the Caucasus, this feature allows broader inclusion of healthcare professionals in ongoing medical education. Language diversity in education has been shown to improve comprehension and knowledge retention among learners [3], especially in technical fields like medicine. By addressing this need, Surgical Platform fosters a more equitable learning environment.

V. CONTENT SCOPE AND EDUCATIONAL VALUE

The platform provides a wide spectrum of educational materials:

- Detailed anatomical illustrations and 3D visualizations, helping learners better understand spatial relationships between structures.
- Clinical case discussions, enhancing decision-making skills.

- Step-by-step surgical guides and technique videos, valuable for residents and early-career surgeons.
- Review material for students preparing for exams in surgery, internal medicine, and related disciplines.

Importantly, the content is curated by experienced clinicians, ensuring that material aligns with current medical standards and practice guidelines.

While current offerings are strong in visual and text-based instruction, Surgical Platform could enhance user engagement by incorporating interactive features such as:

- Virtual dissection or surgery simulations
- Self-assessment quizzes
- Case-based problem-solving modules
- Peer discussion forums

Such tools align with adult learning theory, which emphasizes active participation and feedback [4].

VI. EDUCATIONAL IMPACT AND OUTREACH POTENTIAL

Surgical Platform's mission aligns with the global push toward open-access, cross-border medical education, particularly important in low- and middle-income countries. Its asynchronous, web-based format allows self-paced learning, making it compatible with busy clinical schedules and varying time zones.

To broaden its educational impact, Surgical Platform could pursue partnerships with:

- Universities (for content validation and curriculum integration)
- Hospitals (for practical content feedback)
- Medical organizations (for continuing medical education (CME) accreditation)

These collaborations would lend institutional credibility and may help secure funding to expand content, hire contributors, and enhance platform capabilities.

As healthcare becomes increasingly globalized, platforms like Surgical Platform play a vital role in standardizing surgical education, reducing discrepancies in training quality between regions.

VII. CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS

While the platform holds promise, several challenges and future needs remain:

- Sustainable Funding: Long-term content development, translation, and technical maintenance require funding, which may come from grants, institutional support, or premium-tier services.
- User Feedback Integration: Building a feedback loop with users will help tailor content to real-world clinical needs.
- Content Localization: Adapting material to country-specific guidelines and protocols would improve relevance in different settings.

- Credentialing: Offering certificates or CME credits would increase the platform's appeal to professional users seeking formal recognition of their learning.

By addressing these areas, Surgical Platform could become a leading model for inclusive, technology-driven surgical education.

VIII. FUTURE OUTLOOK: TOWARD A GLOBAL EDUCATIONAL ECOSYSTEM

As digital transformation continues to redefine the medical education landscape, Surgical Platform stands at the forefront of a paradigm shift that integrates technology, inclusivity, and accessibility. Drawing from the global health education agenda outlined by Frenk et al. [5], platforms like Surgical Platform have the potential not only to disseminate knowledge but also to catalyze systemic change in how surgical skills are taught and evaluated worldwide.

One of the envisioned evolutions for Surgical Platform is its integration into a broader global educational ecosystem. This includes aligning its curriculum with international surgical competencies, such as those recommended by organizations like the World Federation for Medical Education and the Global Surgery 2030 initiative. This alignment would ensure the platform meets globally recognized educational benchmarks while also maintaining flexibility to adapt content for regional practices.

In future iterations, the platform could expand into hybrid education models by offering:

- Live webinars and interactive sessions with surgical experts
- Integration with augmented or virtual reality-based surgical simulation tools
- AI-driven personalization of content pathways based on learner performance
- Real-time language translation for live events to accommodate global participation

Furthermore, recognizing that digital literacy varies across regions, future versions of the platform should consider offline capabilities such as downloadable content or modular mobile applications for users in bandwidth limited environments [6].

CONCLUSION

Surgical Platform represents a significant step forward in making surgical and clinical education accessible to a global, multilingual audience. Its strengths lie in its wide language support, well-structured content, and relevance to both learners and practicing professionals. As medical education continues to shift toward digital, inclusive platforms, Surgical Platform is well-positioned to contribute meaningfully to international knowledge exchange, professional development, and surgical training equity. Continued investment, institutional collaboration, and interactive innovation will be key to realizing its full potential.

REFERENCES

- [1] Azerbaijan Medical University. (2024, September 17). ATU-da “Cərrahi Platforma” tədris portalının təqdimatı keçirilib. <https://amu.edu.az/news/4366/atu-da-cerrahi-platforma-tedris-portalinin-tegdimati-kecirilib>
- [2] Institute of Information Technology, ANAS. (2024, September 17). “Cərrahi Platforma” adlı yeni tədris portalının təqdimatı keçirilib. <https://ict.az/az/news/7079>
- [3] Perry, M., Woodward, A., & Rother, D. (2021). Language inclusion in digital health education: A systematic review. *Medical Education*, 55(9), 1012–1021. <https://doi.org/10.1111/medu.14521>
- [4] Knowles, M. S., Holton, E. F., & Swanson, R. A. (2015). *The Adult Learner: The Definitive Classic in Adult Education and Human Resource Development* (8th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315816951>
- [5] Frenk, J., Chen, L., Bhutta, Z. A., et al. (2010). Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. *The Lancet*, 376(9756), 1923–1958. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61854-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61854-5)
- [6] Harden, R. M. (2018). Ten key features of the future medical school—not an impossible dream. *Medical Teacher*, 40(10), 1010–1015. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1498613>

Tibbi Diagnostikada Süni İntellekt Texnologiyalarının Tətbiqi

Gülçin Abdullayeva

ETN İdarəetmə Sistemləri institutu, Bakı, Azərbaycan
gulchinabdullayeva1947@gmail.com

Xülasə – Təsvislərin tanınması süni intellekt nəzəriyyəsinin əsas istiqamətlərindən biridir. Hər hansı təsvirin kompüterdə tanınması üçün universal həllin verilməsi demək olar ki, mümkün deyil. Lakin hər təsvirin xarakter əlamətləri onun müəyyən qanunauyğunluqlara tabe olduğunu göstərir. Tədqiqatda tibbi diagnostika üç mərhələli proses kimi nəzərdən keçirilir və qapalı subobyektlər kompleks təsvirlər əsasında tədqiq olunur ki, bu da diagnostikanın ən erkən mərhələsinə aiddir. Bu məqsədlə qapalı və ya qapanmaya meyilli konturların (törəmələrin) aşkarlanması ilə bağlı prediktor anlayışı və onu səciyləndirən üç yeni indikator təklif olunur. Araşdırmalar Toshiba-SAL-38B ultrasəs müayinəsindən (USM) alınan təsvirlər (238) üzərində aparılmışdır. Təsvislərin tanınması üçün proqram paketi işlənmişdir. Prediktor aşkarlanarsa onun indikatorları ölçülür və protokollaşdırılır. Monitoring tezliyi həkim tərəfindən təyin edilir.

Açar sözlər – təsvirlərin tanınması, USM, proqram paketi, prediktor, indikator.

I GİRİŞ

Surətlərin tanınması süni intellektin əsas qollarından biridir. Surətlərin klassik tanınma nəzəriyyəsində bu proses informativ əlamətləri formalaşdırmaq və həlledici proseduru təyin etməkdir. Elmi araşdırmalar göstərdi ki, həlledici qaydaların işlənməsi üzrə böyük sayda iş mövcuddur. Burada olduqca çox yeni yanaşmalar və üsullar işlənmişdir, böyük sayda alqoritmlər yaradılmış və s. İnformativ əlamətlərin isə təyini və seçimi üzrə dar çərçivədə, yəni bir sahəni əhatə edə biləcək üsul və alqoritmlərə, nadir hallarda metodikalara rast gəlik. Ümumiyyətlə demək olar ki, surətlərin tanınması üçün informativ qiymətə malik əlamətlərin təyin edilməsi prosesi empirik xarakter daşıyır, proses fərdin subyektiv rəyindən, təcrübəsindən və onun şəxsi intuisiyasından asılıdır. Hər hansı təsvirin kompüterdə tanınması üçün universal həllin verilməsi demək olar ki, mümkün deyil. Lakin hər təsviri səciyləndirən əlamətlərin aşkarlanması, onun müəyyən qanunauyğunluqlara tabe olduğunu göstərir. Bu baxımdan tanıma üçün təqdim olunan təsvirin hazırlanması bir neçə mərhələdən ibarət olmalıdır. İlk növbədə, təsviri filtrasiya etmək, daha sonra filtrasiya olunmuş təsviri məntiqi emal etmək və son mərhələdə isə məntiqi emal olunmuş təsvir üçün qərar qəbul etmə alqoritmləri tətbiq edilməlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu mərhələlərin hər birinin tətbiq edilməsi mütləq deyil, yerinə yetirilən məsələdən asılı olaraq bunlardan bəziləri istifadə oluna bilər. Təsvislərlə işləmək üçün məsələlər üç sinfə bölünür [1, 2]:

- Təsvislərin emalı məsələləri;
- Təsvislərin analizi məsələləri;
- Təsvislərin sintezi məsələləri.

Təsvislərlə işləmək üçün məsələlər bu üç sinfdən birinə aiddir. Təsvislərin analizi və emalı arasında sərhədlər dəqiq

müəyyən olunmayıb. Buna görə müəlliflər bu məsələləri aşağı, orta və yüksək səviyyəyə bölməyi təklif edirlər. Aşağı səviyyəli proseslərə primitiv məsələlər, məsələn, küyün azalması və kontrastlığın artırılması daxildir. Bu səviyyədə həm giriş, həm də çıxışda təsvir olur. Orta səviyyəli məsələlərə təsvirdən informasiyanın alınması, obyektlərin seçilməsi aiddir. Çıxışda təsvirdən alınmış əlamətlər olur. Yüksək səviyyəli məsələlər təsvirdən alınmış obyektlərin tanınmasını (kompüter görməsi) əhatə edir. Təsvislərin analizi və emalı məsələlərinin ayrılması şərtidir və məsələdən asılı olaraq bu ardıcılıq dəyişə bilər. Təsvislərin sintezi isə, kompüter qrafikası və görüntü emalı sahəsində, müəyyən bir məqsədə uyğun təsvirlərin yaradılması və ya yenidən qurulması prosesini ifadə edir. Bu, mövcud təsvirlərdən yeni təsvirlər yaratmaq və ya tamamlanmamış təsvirləri tamamlamağa kömək edən texnikaları əhatə edə bilər. Təsvislərin sintezi, ümumiyyətlə, verilənlərdən və ya modellərdən istifadə edərək yeni vizual məlumatlar yaratmağa diqqət yetirir. Ümumilikdə, təsvirlərin emalı texnologiyaları bir çox sahələrdə tətbiq olunur. Məsələn, tibbi diagnostikadan kosmik tədqiqatlara qədər müxtəlif sahələrdə təsvirin emal metodları, xəstəliklərin erkən aşkarlanması, ətraf mühitin monitoringi və digər mürəkkəb problemlərin həlli üçün kritik rol oynayır.

II MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Mürəkkəb qapalı konturların tanınması və identifikasiyası problemi konkret hallar üçün hələ də tam şəkildə həll edilməmişdir. Bir neçə misal gətirək. Afina Universitetində aparılmış “Qalxanabənzər vəzin sonoqramlarında kəmiyyət şəkli analizi” adlı tədqiqatda vəzin toxumasının vəziyyətini statistik analiz üsulları ilə avtomatik şəkildə müəyyən etməyi təklif edirlər [3].

Metodun çatışmazlıqları: bir tərəfdən obyektin tanınması üçün geniş statistik verilənlər bazası tələb olunur; digər tərəfdən isə parlaqlığa əsaslanan məsafə qiymətləndirməsi üçün yüksək dəqiqlikdə korrelyasiya tələb olunur.

Alternativ nümunə kimi süd vəzilərinin xoşxassəli patologiyalarının diagnostikasında USM-in əhəmiyyəti qeyd olunmalıdır. Çatışmazlıqlar: kiçik ölçülü xoşxassəli törəmələrin (diametri 10 mm-dən az olan) vaxtında aşkarlanması problemi hələ də tam həll olunmamışdır. Daha kiçik ölçülü törəmələrə dair dəqiq məlumatlar isə mübahisəlidir.

Ən əlverişli şərtlərdə ultrasəsə vizuallaşdırıla bilən süd vəzisi şişlərinin minimal ölçüsü 4–5 mm təşkil edir; lakin qeyd olunmalıdır ki, hətta böyük ölçülü düyünlər belə bəzi hallarda görünməyə bilər, xüsusilə vəzili toxumanın üstünlük təşkil etdiyi, həmçinin düyünün izoekogen struktura malik olduğu hallarda. Böyrəkdə törəmələrin görüntülənə biləcəyi minimal ölçü, onların böyrəyin konturundan kənara çıxması halında, təqribən 10–15 mm-dir [5].

Bədxassəli böyrək parenximası şişləri, adətən, böyük ölçüsü, xarici konturların deformasiyası və struktur heterogenliyi ilə səciyyələnir. Bununla belə, böyrək konturunu dəyişməyən və intraparenximal yerləşən, ölçüsü 1.5 sm-dən az olan törəmələrin aşkarlanmasında metodun effektivliyi aşağıdır [6].

Qalxanabənzər vəzi xərcənginin yerli residivlərinin erkən diaqnostikasında ultrasəs kompüter tomoqrafiyası mühüm əhəmiyyət daşıyır. Müvafiq tədqiqatlara əsasən, bu metodun həssaslığı 93.6%, dəqiqliyi 91%, spesifikliyi isə 90.2%-dir [7]. Qalxanabənzər vəzidə ultrasəslə vizuallaşdırıla bilən törəmələrin minimal ölçüsü 3–4 mm-dir [8].

Əksər tədqiqatçılar hesab edirlər ki, qaraciyər kistalarının vizual aşkarlanması üçün minimal ölçü 3–5 mm təşkil edir. Son illərdə aparılan bir sıra tədqiqatlar böyük ölçülü qeyri-parazit kistaların parazit lezyonlardan differensial diaqnostikasının sadələşdirildiyini və bu sahədə mühüm irəliləyişlərin əldə olunduğunu qeyd edir. Müasir dövrdə qaraciyərin radioizotop sintiqrafiyası və öd yollarının dinamik tədqiqi vasitəsilə 2–3 mm-dən böyük intraduktal düyünləri vizual şəkildə müəyyən etmək mümkündür. Araşdırmalar göstərir ki, 1 sm-dən böyük şişlərin mövcudluğu rentgen kontrast kompüter tomoqrafiyasının həssaslığına təsir etmir. Bu müayinə metodunun həssaslığı 2 sm-dən böyük törəmələr üçün 100%, 1–2 sm ölçülü törəmələr üçün 93%, 1 sm-dən kiçik törəmələr üçün isə 60% təşkil edir və spesifikasiyiklik göstəricisi 96%-ə bərabərdir. Buna görə də qaraciyərin ilkin və metastatik şişlərinin differensial diaqnostikasında rentgen kontrast kompüter tomoqrafiyasının tətbiqi məqsədəuyğun hesab edilir [9]. Zoph və həmkarları [10]-da göstərmişlər ki, miqyaslı bilən təsvir tanınması modellərinin hazırlanması ciddi resurslar və yüksək xərclər tələb edir. Bu səbəbdən müəlliflər NASNet axtarış sahəsi adlanan yeni məlumat dəstini təklif edirlər. [11]-də isə qeyd edilir ki, düzləşdirilmiş təsvir adətən kəsilmiş və ya hər hansı bucaq altında verilmiş şəkildir

Aparılmış araşdırmaların təhlili göstərmişdir ki, daxili orqanlarda yerləşən törəmələrin ultrasəs təsvirləri, ümumi halda, 2–3 mm-dən böyük olduqda vizuallaşdırıla bilər. Lakin onkoloji xəstəliklərin erkən mərhələlərində 1–2 mm-dən kiçik ölçülü törəmələr barədə məlumatın əldə olunması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Belə hallarda törəmənin daxili sahəsi bəzən ətraf toxuma ilə eyni exogenliyə malik ola bilər ki, bu da vizual aşkarlanmanı çətinləşdirir. Qeyd edək ki, tibb sahəsində USM təsvirlərinin avtomatik və yaxud avtomatlaşdırılmış tanınmasına xeyli sayda işlər həsr olunub. Lakin bu araşdırmaların analizi göstərir ki, daxili orqanlarda yaranan fəsadları aşkarlayan ümumi bir yanaşma və yaxud alqoritm mövcud deyil. İnsan orqanizminin ultrasəs müayinəsi təsvirlərində törəmələrin, qapalı və ya qapanmaya meyilli konturların tanınması, identifikasiyası və ölçü sisteminin yaradılması prinsipinə əsaslanan bir avtomatlaşdırılmış diaqnostika sisteminin işlənilməsinə ehtiyac duyulur [12]. Təqdim olunan iş bu məsələnin həllinə yönəlib.

III. TEXNİKİ VASİTƏLƏRİN SEÇİMİ

Süni intellektin müxtəlif sahələrdə istifadəsi və perspektivləri, o cümlədən səhiyyə və tibb sahəsində indiki və gələcək vəziyyəti haqqında xeyli sayda qeydlər edilir. Onların

arasında xüsusi yer tibbi aparat vasitələrindən alınan təsvirlərin emalı ilə bağlıdır. Bu sahədə informasiya texnologiyalarının tətbiqi aktual məsələ olaraq qalır. Kompüterlər tibbi müəssisələrdə sənədləşmə, verilənlər bazasının emalı və saxlanması, statistika üçün tətbiq olunur. Kompüterlərin digər bir qismi isə müxtəlif diaqnostik və müalicəvi cihazların tərkib hissəsidir. Bu sahələrin çoxunda kompüterdə standart proqram təminatı istifadə olunur. Lakin tibbdə informasiyalaşdırmanın digər mühüm istiqaməti isə vaxtında və dəqiq diaqnoz qoulmasını və effektiv müalicə taktikasının seçilməsini təmin etməkdir. Son zamanlar tibbdə müvəffəqiyyətlə tətbiq olunan informasiya texnologiyalarından kompüter görmə (computer vision) texnologiyasıdır. Bu texnologiya təsvirlərin analizi və tanınmasında geniş istifadə olunur.

Təsvirlərin alınması üçün istifadə olunan texniki avadanlıqlar və aparat vasitələri, görüntü keyfiyyətini, dəqiqliyini və operativliyini müəyyən edir, həmçinin alınan məlumatların effektiv emalını təmin edir. Texniki avadanlıqlar arasında skanerlər, rəqəmsal kameralar, 3D skanerlər, mikroskoplar, infraqırmızı kameralar və xüsusi görüntü emal cihazları kimi müxtəlif alətlər vardır. Hər bir avadanlıq, spesifik tələbləri və tətbiq sahələri nəzərə alınaraq seçilir.

Ultrasəs (US) yüksək tezlikli səs dalğalarıdır. İnsan qulağı mühitdə sənədə (Hs) 16000-hersə qədər tezlikdə yayılan dalğaları qəbul edir, daha yüksək tezlikli rəqslər ultrasəs adlanır. US insan qulağının eşidə bilmədiyi 20000 hersdən artıq səs dalğalarının rəqsidir [1]. Ultrasəs müayinəsi orqanlarda, xüsusilə törəmələrin, şişlərin, struktur dəyişikliklərinin aşkar edilməsi üçün istifadə olunur. Hal-hazırda bu metod, maye ilə dolu yumşaq toxumaların və orqanların müayinəsində ən təhlükəsiz və kifayət qədər həssas və dəqiq bir üsul olaraq qəbul edilir. US təsvirlərində şişlər səlis görünür və hətta onlar differensasiya edilə bilər. Tədqiqat işində istifadə etdiyimiz Toshiba-SAL-38B (Sonolayer) ultrasəs aparatı elektron və mexaniki yüksək tezlikli skanerləmə vericiləri (PLB-505, 5 Mhs) ilə təchiz olunmuşdur və B- , B+M, M rejimlərində işləyə bilər. Diaqnostik dərinlik 20 sm-dir, məsafə, sahə, böyümənin ölçülməsi üçün istifadə olunur.

V. TƏSVİRLƏRİN TANIMA ÜSULLARI

Tibb sahəsində təsvirlərlə işləmə geniş yayılmış bir istiqamətdir. Diaqnostikanın inkişaf etmiş metodlarının tətbiqi nəticəsində təsvirlərin təhlili xüsusilə əhəmiyyət qazanmışdır, çünki tibbi praktikada təsvirlərin əldə edilməsi üçün bir çox metod istifadə olunur. Tibbi təsvirlərin əksəriyyəti insan üçün təhlükəsiz olan ultrasəs müayinəsi ilə alınır. USM nəticəsində alınmış orqanın təsviri mürəkkəb olduğu üçün yalnız əlamətlərin ayrılması ilə obrazın tanınması məsələsinin həll alqoritm tətbiq edilə bilmir. Çünki bu zaman əsas məsələ orqanın görünüşünün alınması və onun ölçülməsidir.

Tanınma prosesi aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik iki mərhələdən ibarət olan informativ məsələlər əsasında həyata keçirilir:

- Orijinal məlumatların tanınma üçün əlverişli bir formaya çevrilməsi;

- Müvafiq tanınma, yəni obyektin müəyyən bir sinfə aid olduğunu göstərmək.

Bu mərhələlərdə obyektin oxşarlığı və ya analogi konsepti təqdim edilə bilər. Müxtəlif siniflərdə və ya eyni sinifdə qeydə alınan obyektlərə əsaslanan qaydalar formalaşdırıla bilər. Bu məsələlər üçün formal nəzəriyyələr qurmaq və klassik riyazi üsulları tətbiq etmək çətindir, çünki verilənlər mövcud riyazi modellərə uyğun olmaya bilər və ya model və tətbiq edilən üsullardan əldə olunan fayda xərclərlə müqayisə oluna bilməz.

İşdə tanınmanın dürüstlüyünü təmin edən üsul və alqoritmlərin seçilməsi üçün aşağıdakı üsullar araşdırılmış və qoyulmuş məsələnin həllində effektivliyi qiymətləndirilmişdir. Birinci addımda əlamətlər fəzasında məsafə anlayışına aid üsullar araşdırılır. Bura Evklid, Manhattan (L1 norması), Minkovski (Minkowski metric), Çebışev, Canberra, Kosinus, Cov (kovariasiya), Mahalanobis, Ən yaxın qonşu, Uzaq qonşu, Kolmoqorov məsafələri araşdırılmışdır. İkinci addımda sərhəd üsullarına baxılmışdır. Təsvirin tanınmasında əsas məsələ, onun ayırd edilməsidir. Bu, təsvirin hissələrə bölünməsi, yəni sərhədlərin müəyyənəşdirilməsi və bu sərhədlər daxilindəki daxili hissənin ayrılması tələb olunur. Bu məqsədlə, tətbiq olunmuş bir sıra metodlar təsvirin konturlarının ayrılması məsələsini həll edir. Sərhəd metodları, sərhəd qiymətlərinə əsaslanaraq təsvirin iki və daha çox hissələrə bölünməsidir. İki baza metodu istifadə edilir: global sərhədli metod; adaptiv sərhədli metod.

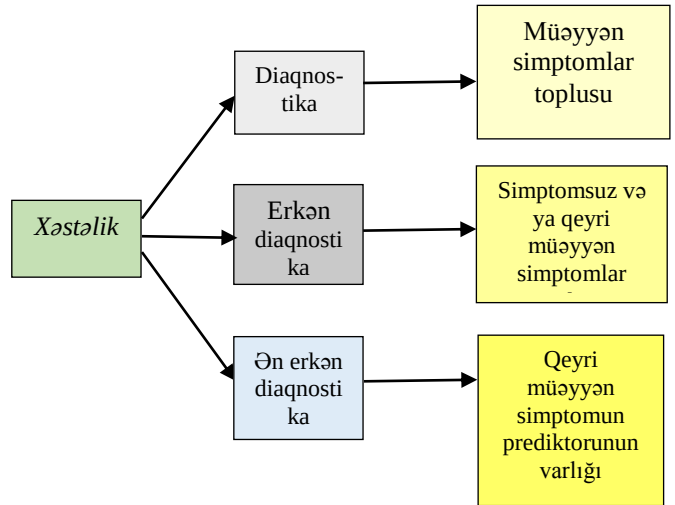
Global sərhəd emalında Bernsten, Eykliv, Niblek və s. üsullarından istifadə edilir. Adaptiv sərhədli üsul işıqlanmanın qeyri-bərabər olduğu hallarda daha yaxşı nəticələr verir [13]. Bu halda ilkin təsvir alt sahələrə bölünür və onların hər birində seqmentasiya üçün öz sərhəddi axtarılır. Xətti filtrasiya (Sobel və Prewitt filtrləri kənarları vurğulamaq, Gaussian blur isə təsviri hamarlaşdırmaq və küyü azaltmaq üçün istifadə olunur) sadə və hesablama baxımından səmərəlidir, giriş siqnalının çəkili cəmini hesablayır və giriş və çıxış siqnalları arasında xətti əlaqəni saxlayır. Qeyri-xətti filtrasiya xətti filtrasiyadan fərqli olaraq, giriş siqnalları ilə çıxış siqnalları arasında qeyri-xətti əlaqə yaradır və bunun sayəsində daha mürəkkəb məlumatları və əlaqələri emal edə bilər. İşdə yoxlanılan filtrlərdən Median, Non-Local Means, Harmonik ortaqqlama, Qaus (Gaussian filter), **Laplas filtrləri adlarını qeyd edək.**

Rəng palitrası (RGB, CMYK, HSI rəng modeli, **Hue (H), Saturation (S), Intensity (I)**) modelində boz şkaladan istifadə edirik. Boz rəngin müxtəlif adları və çalarları mövcuddur (məsələn, Gray, Trolley Grey, Chrysler Vapor Steel Gray, Volkswagen Polar Gray), bunlar müxtəlif rəng sistemləri və kontekstlərdə istifadə oluna bilər. Boz şkalada təsvirlər boz rəngin müxtəlif çalarlarını istifadə edir. RGB modelində boz rəngin çalarları rəng kubunun əsas diaqonalında yerləşir, burada qırmızı, yaşıl və mavi komponentlərin dəyərləri eynidir.

VI. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ

Tibbdə diaqnostika dedikdə, xəstəliyin növü, simptomları və onların əlamətlərinin müəyyən edilməsi başa düşülür. Simptomsuz və ya qeyri-müəyyən, yaxud natamam simptomlar toplusuna çox vaxt erkən diaqnostika deyilir. Müasir texniki

vasitələrdən və informasiya texnologiyalarından istifadə edərək, tibbi diaqnostika prosesinə ən erkən diaqnostika anlayışı daxil edək. Ən erkən diaqnostika dedikdə isə, hər hansı əlamətlərin aşkarlanmasına baxmayaraq, onların bilavasitə hansı patologiyaya aid olduğunu dəqiqliklə təsdiqləməyən halları aid edirik. Bunun üçün əvvəldən diaqnostikanın mahiyyətini təyin etmək lazımdır. Belə ki, diaqnostika əməliyyatını üç pilləli bir proses kimi qəbul etmək olar (şəkil1).

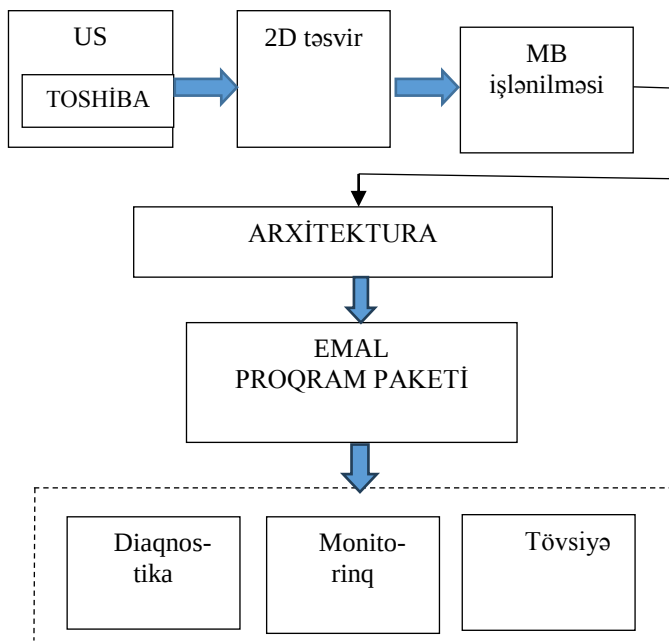


Şəkil 1. Xəstəliyin diaqnostikasının növləri.

Prediktor haqqında informasiya əldə etmək üçün onu səciyyələndirən üç indikator təklif edirik. Bunlar əyri xətlə qapanmış sahə, sahənin ağırlıq mərkəzi və sahənin rəng palitrası. Fiqurun sahəsinin hesablanması üçün müəyyən integral, həmçinin düzbucaqlılar, trapesiya, Monte-Karlo metodlarından, Qrin düsturundan istifadə etməklə fiqurun sahəsi hesablanıla bilər. Fiqurun sahəsi alınmış qapalı konturun həndəsi ölçülərini göstərən və digər fiqurlardan fərqləndirən informativ əlamətdir. Fiqurun ağırlıq mərkəzinin təyin edilməsi riyazi morfologiya üsulu ilə yeni müstəvidə alınmış fiqurun ilkin müstəvidə axtarılan fiqurla eyniliyini müəyyən etmək üçün tətbiq edilir. Mərkəzin müxtəlifliyi fiqurların müxtəlifliyi deməkdir. Qeyd edilən göstəricilərlə yanaşı fiqurun rənginin təyini informativ əlamətlərdən biridir. Bu məqsədlə RGB rəng modelindən istifadə olunub. Normal paylanma qanununu tətbiq edərək fiqurun nöqtələrinin rənglərinin paylanması müəyyən edilir. Bunun üçün qapalı fiqurun nöqtələrinin rəng çalarları əsasında orta çəkili hesabi qiymət (M) və onun dispersiyası (D), orta kvadratik meyli (σ) və orta qiymətin xətası (m) müəyyən edilir. Təsvirin emalı əsasında diaqnostikanı həyata keçirən sistemdə bir sıra komponentlər olmalıdır. Hər bir komponent müəyyən funksiyaları yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. USM zamanı orqanın exo-siqnalların əksi nəticəsində təsviri alınır. Əsas problem bu təsvirin analizi nəticəsində orqanda patologiyanın olub-olmamasının aşkar edilməsidir. Diaqnostik sistemin ardıcıl olaraq mərhələlərlə iş rejimini nəzərdən keçirək.

Birinci mərhələdə USM təsvirləri kompüterə daxil olmalı, sinifləşdirilməli və emala ötürülməlidirlər. Emal üçün tələb olunan riyazi aparat seçilməli və paketlənməlidir. Onun vasitəsilə 2D mürəkkəb təsvirin tanınması üçün informativ əlamətlər təyin olunmalıdır, tələb olunduqda müvafiq hesablamalar aparılmalıdır. Əlamətlər əsasında diaqnostika mərhələsinə keçid mümkündür. Yuxarıdakıları əsas tutaraq USM təsvirlərində törəmələri aşkar edən intellektual sistemin arxitekturası qurulur.

Toshiba-SAL-38B-dən kompüterə ötürülən təsvirin emalı üçün IV və V bəndlərdə adı çəkilən vasitə və üsulların analizi nəticəsində Proqram Paketi işlənmişdir. Proqram paketi, müasir informasiya texnologiyalarının təşkili və tətbiqi sahəsində mühüm rol oynayan bir struktur bazadır. Bu paket, xüsusi bir problemin həlli üçün bir araya gətirilmiş bir neçə proqramın və ya proqram komponentinin toplusudur. Qrup daxilindəki proqramlar, qarşılıqlı əlaqəli funksiyaları yerinə yetirərək daha geniş və kompleks vəzifələrin icrasına yönəlir. Adətən, bu proqramlar vahid bir interfeys vasitəsilə idarə olunur ki, bu da istifadəçi üçün daha rahat bir mühit yaradır. Toshiba-SAL-38B-dən kompüterə ötürülən təsvirin emalı üçün IV və V bəndlərdə adı çəkilən vasitə və üsulların analizi nəticəsində Proqram Paketi işlənmişdir. Proqram paketi, müasir informasiya texnologiyalarının təşkili və tətbiqi sahəsində mühüm rol oynayan bir struktur bazadır.



Şəkil 2. Sistemin arxitekturası.

Bu paket, xüsusi bir problemin həlli üçün bir araya gətirilmiş bir neçə proqramın və ya proqram komponentinin toplusudur. Qrup daxilindəki proqramlar, qarşılıqlı əlaqəli funksiyaları yerinə yetirərək daha geniş və kompleks vəzifələrin icrasına yönəlir. Adətən, bu proqramlar vahid bir interfeys vasitəsilə idarə olunur ki, bu da istifadəçi üçün daha rahat bir mühit yaradır.

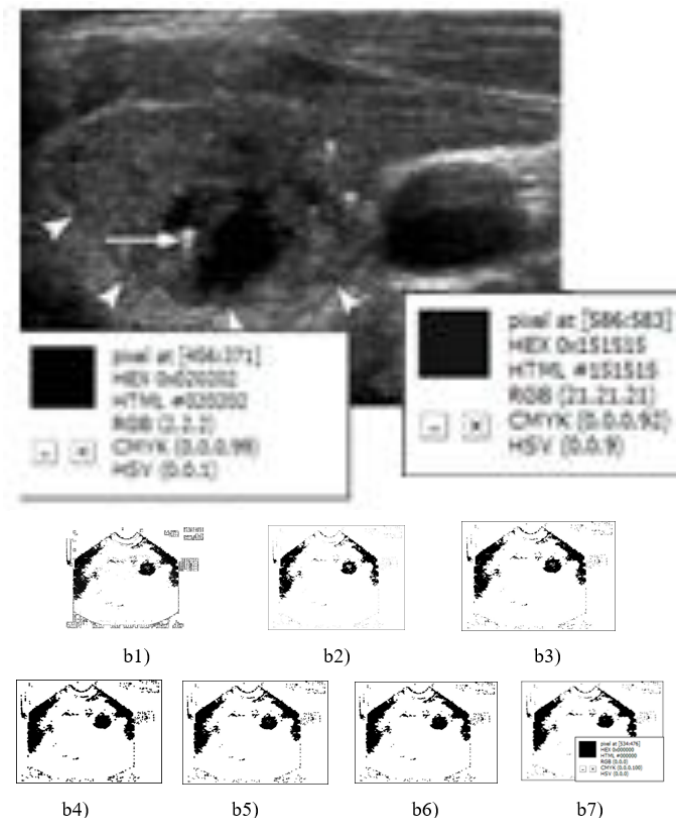
Proqram paketində istifadə olunan üsullar:

- **"k-nearest neighbor"** ("k-yaxın qonşu");

- Image processing (təsvirlərin emalı) – bu texnologiyada biz aşağıda adları çəkilən üsulları nəzərdə tutmuşuq:
 - **Threshold** (sərhəd metodları);
 - **Canny edge defection** (sərhədlərin aşkar edilməsi);
 - **Gradient** metod (qradiyent metodu);
 - **Watershed** (suyun ayrılma üsulu);
 - **Saussion blur** (küydən təmizlənmə üsulu)
 - **Sobel** method (sərhədlərin ayrılması);
 - **Grayscale image** (boz rəng çalarlarında təsvir);
 - **Kenni Non-Maximum Suppression** (maksimumların yatırılması).
 - **Binary morphology** (binar morfologiya);
 - **Prediktorun** indikatorlarının hesablanması
- Proqram təminatı Phyton proqram dilində işlənib.

VII. EKSPERİMENTLƏRİN APARILMASI

Eksperimentin effektivliyini artırmaq üçün eksperimental obyektlərin reprezentativ seçilməsini təmin etmək məsləhətdir. Yəni eksperimentdə müxtəlif orqanlar bərabərçüvvəli təmsil olunmalıdırlar. Bəzi hallarda eksperimentin mövzusu laboratoriya araşdırmaları ilə məhdudlaşa bilər. Bizim yanaşmada bunun xüsusi mənası var. Çünki ən erkən diaqnostika hallarında elə predindikatorlar mövcud ola bilərlər ki, onlar illərlə dəyişməz qalsın. Belə hallar USM mütəxəssisindən məsələyə sistemli yanaşma tələb edir. Bu növ yanaşma elmitutumlu tədqiqat işi ola bilər. Praktika göstərmişdir ki, çox kiçik ölçülü düyün və kistalar bəzən daha ciddi xəstəliklərin erkən diaqnozu üçün əhəmiyyətli əlamətdir (şəkil 3).



Şəkil 3. Böyrək təsviri və emalı.

Ən erkən diaqnostika zamanı ölçüsü çox kiçik olan törəmələrin aşkar edilməsi üçün istifadə olunan tibbi cihazlar, o cümlədən MRT müəyyən səbəblərdən həmişə və tez-tez istifadə oluna bilmir, yəni prosesin dinamikada izlənilməsi insan sağlamlığı üçün təhlükəlidir (ancaq bu cür kiçik törəmələrin aşkarlanması üçün MRT kimi tibbi müayinələr həmişə mümkün olmaya bilər, çünki dinamik müşahidə prosesi xəstə üçün risklidir). USM kiçik törəmələri aşkarlamağa imkan versə də, subyektiv faktorlar səbəbindən bu törəmələr tez-tez həkim tərəfindən nəzərə alınmır. Aparılan çoxlu sayda (238) eksperimentlər proqram paketində toplanmış üsulların və riyazi morfologiya əməliyyatlarının tətbiqindən alınmış təsvirlərin USM-nin təsvirləri ilə identik olduğunu göstərir. Ölçüsündən asılı olmayaraq orqanın ümumi təsvirindən ixtiyari törəmənin görünüşü alınır. Bu isə verilən alqoritmın hətta kiçik ölçülü törəmələrin aşkar edilməsi üçün mümkün olmasını göstərir. Alınmış törəmələrin tanınması üçün prediktordan istifadə edilir və onu səciyələndirən 3 indikator hesablanır.

VIII MÜZAKİRƏ

Bu məqalədə təqdim etdiyimiz yanaşma ilə oxşar tədqiqatlar arasındakı əsas fərq ondan ibarətdir ki, biz erkən diaqnozla yanaşı “ən erkən diaqnoz” anlayışını da təklif edirik. Yaradılmış sistem xəstəliklərin bəzi növlərinin erkən diaqnostikası zamanı təsvirdə kiçik ölçülü (digər orqanlarla müqayisədə) törəmələri aşkar etmək imkanı yaradır. Çox vaxt tibbi təsvir kontrast olur, bu halda görmənin sərhəd kontrastı ilə uyğun gələn kontrastla xarakterizə olunur. Bu cür törəmələrin tibbi təsvirlərdə nəzərdən qaçırılması xəstənin vəziyyəti haqqında səhv nəticəyə səbəb ola bilər. Aparılan eksperimentlər göstərdi ki, onun düzgün aşkar edilməsi obyektin təsvirdə kontrastı və bucaq ölçülərindən, görmə sisteminin sərhəd kontrastından asılıdır. Kiçik kontrastlı törəmələri (piksəllərlə ölçülən) düzgün aşkar etmək üçün qabaqcadan emal təsvirin parametrlərinin indikatorlara uyğunlaşmasına yönəlməlidir. Beləliklə, törəmələri həm kontrastlıq mərhələsində, həm də miqyaslanma mərhələsində aşkar etmək mümkün olmuşdur. Bu məqsədlə “prediktor” adlı yeni bir anlayış təqdim olunur. Gələcək müşahidələr törəmənin sabit qaldığını, yoxsa inkişaf etdiyini göstərəcək. İnformasiya-tanıma sisteminin protokolları tərtib olunmuşdur və həkim tərəfindən əldə edilən nəticələrə əlavə olaraq yeni xarakteristikalar (indikatorlar) təqdim olunmuşdur. Sistem törəmənin yaranma prosesini və onun inkişaf mərhələlərini izləməyə imkan verən bir vasitədir.

IX. NƏTİCƏ

USM təsvirlərində çox kiçik (2 mm-dən) düyün və törəmələrin aşkar edilməsi üçün süni intellektin əsas qollarından olan təsvirlərin tanınması nəzəriyyəsinin üsulları və alqoritmləri tətbiq edilmişdir və intellektual diaqnostika sistemi işlənmişdir. Bunun üçün tibbi diaqnostikaya üç pilləli yanaşma təklif edilmişdir. Prediktor anlayışı daxil edilmiş və

onu səciyələndirən 3 indikator verilmişdir. Tanınma həyata keçirən proqram paketi yaradılmış və o, sinifləşdirmə, sərhədlərin ayrılması, segmentasiya, küylərdən təmizlənmə, filtrləmə, riyazi morfologiya, prediktor aşkarlanıbsa onun indikatorlarını hesablayaraq protokolları həkimə təqdim edir. Həkim vəziyyətdən asılı olaraq monitorinqin vacibliyini və tezliyini təyin edir. Eksperimentlər Toshiba-SAL-38B ultrasəs aparatından alınan təsvirlər üzərində aparılıb (238 fraqment). Sistem qapalı və ya qapanmaya meyilli konturla əhatə olunmuş kiçik törəmələrin dinamikasına nəzarəti aparmaq imkanı verir. Bu yeni xarakteristikalar həkimlərə və biomolekulyar səviyyədə elmi tədqiqat aparan alimlər üçün faydalı ola bilər.

ƏDƏBİYYAT

- [1] Gonzalez, R. & Woods, R. (2012). Digital Image Processing (3rd Edition). M.:Technosfera, 1104 p.
- [2] Abdullayeva, G.G., Ali-zadeh, C.A. & Hajiyev, Z.A. (2004). Intelligent system of optimization of choice of sort of operating interference. USA, CA: SPIE, Medical Imaging. URL: <http://www.spie.org/vol.5371>.
- [3] Skouliakou C., Lyra M., Antoniou A., Vlahos I. Quantative image analysis in sonograms of the thyroid gland. Nuclear Instruments and Methods in Physics research, - 2006, vol.569, p/606-609
- [4] Sukhareva, Y.A. & Ponomareva, L.A. (2013). Characteristics of diseases of the mammary glands in adolescent girls visiting the mammology clinic. Tumors of the female reproductive system, (1-2), 40-4. [in Russian].
- [5] Kazakevich, V.I., Mitina, L.A., Stepanov, S.O. & Vostrov, A.N. (2016). Ultrasound diagnosis of tumors of the main localizations: general principles and approaches. Analytical review, personal observations. Department of Ultrasound Diagnostics, P.A. Hertsen Moscow Oncology Research Center, Moscow
- [6] Nikolsky, Y.Y., Chekhonatskaya, M.L., Zuyev, V.V. & Zakharova, N.B. (2016). The possibilities of the ultrasound method in the diagnosis of tumors of the renal parenchyma. Bulletin of Medical Internet Conferences, Vol. 6, Is. 2. [in Russian]. pp. 282-284.
- [7] Abdullaeva, G.G. & Alizadeh, U.M. (2015). Recognition of complex images on a plane. Scientific journal “Achievements and problems of modern science”, 65-70.
- [8] Sinyukova, G.T., Gudilina, Y.A., Danzanova, T.Y., Sholokhov, V.N., Lepedatu, P.I., Allakhverdiyeva, G.F. & Kostyakova, L.A., Berdnikov S.N. (2016). Modern technologies of ultrasound imaging in the diagnosis of local recurrence of thyroid cancer. Medical Sciences, No 9(51). [in Russian]. pp. 81-84
- [9] Huseynov, A.Z. & Huseynov, T.A. (2016). Modern diagnosis of liver tumors. Electronic Journal of New Medical Technologies, No 4. 19 p. [in Russian].
- [10] Zoph, B., Vasudevan, V., Shlens, J. & Le, V.Q. (2018). Learning Transferable Architectures for Scalable Image Recognition. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8697-8710
- [11] Longacre, A. Jr., Hawley, T. & Pankow, M. (2016). System and method to manipulate an image. Patent number: 9477867.
- [12] Gulchin Gulhuseyn Abdullayeva and Ulker Mehmanali Alizade An Information Recognition System for Complex Images and Artificial Intelligence Journal Regular Issue, Vol. 8 N. 3 (2019), 79-93 eISSN: 2255-2863 - <http://adcaij.usal.es> Ediciones Universidad de Salamanca - cc by nc dc 92
- [13] Shapiro, L. & Stockman, G. (2001). Computer Vision. Pearson.ADCAIJ: Advances in Distributed Computing

Genom Verilənlərinin Tibbdə İstifadə İmkanları: Nailiyyətlər və Perspektivlər

Mehrac Abbasov

ETN Genetik Ehtiyatlar İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

mehraj_genetic@yahoo.com

Xülasə — Yeni nəsil sekvensləmə (YNS) texnologiyaları və onların bioinformatik yanaşmalarla inteqrasiyası genetik tədqiqatlarda inqilabi dəyişikliklərə səbəb olaraq genom məlumatlarının tibbi praktikada geniş şəkildə istifadəsinə şərait yaratmışdır. Məqalədə YNS texnologiyalarının tibbdə tətbiq sahələri – nadir irsi və multifaktorial xəstəliklərin diaqnostikası, farmakogenetika, fərdiləşdirilmiş müalicə strategiyaları, qeyri-invaziv prenatal testlər və molekulyar onkologiyada hədəfli terapiya imkanları ətrafı təhlil olunur. Genetik məlumatların tibbi qərarvermə proseslərində artan rolu, eləcə də süni intellekt, dərin öyrənmə və digər bioinformatik alətlərin böyük genom verilənlərinin emalında əhəmiyyəti vurğulanır. Bu yanaşmalar xəstəliklərin erkən aşkarlanması, fərdi risk proqnozu və daha səmərəli müalicə modellərinin formalaşmasına mühüm töhfə verir.

Açar sözlər— genom verilənləri, yeni nəsil sekvenser texnologiyaları, tam genomun oxunması, ekzom sekvenslənmə, ampikon sekvensləmə.

I. GİRİŞ

Hazırda Yer kürəsində 8 milyardan çox insan yaşayır və onların hər biri təxminən 100 trilyon hüceyrədən ibarət kompleks bir bioloji sistemi təşkil edir. Bu hüceyrələrin koordinasiya fəaliyyəti, orqanizmin quruluş və funksiyalarını təyin edən, genetik təlimatları daşıyan deoksiribonuklein turşusu (DNT) molekulu tərəfindən tənzimlənir. Hüceyrənin irsi informasiyasını daşıyan bütün DNT molekulalarının cəmi isə orqanizmin genomunu formalaşdırır.

Genom insanın fərdi xüsusiyyətlərini, o cümlədən sağlamlıq vəziyyətini və müxtəlif xəstəliklərə olan meyillərini əks etdirir. Bu səbəbdən də genomun oxunması (sekvenslənməsi) uzun illərdən ki, elmi tədqiqatların əsas istiqamətlərindən biri olmuşdur. Sekvensləmə DNT zəncirini təşkil edən dörd əsas nukleotidin (adenin, qüanin, sitozin və timin) ardıcılığının müəyyən olunması prosesidir [1]. Genomun oxunması təkcə orqanizmin mənşə və təkamül tarixini aydınlaşdırmaqla kifayətlənmir, həm də mutasiyaların aşkarlanmasına, genetik xəstəliklərin səbəblərinin müəyyənəndirilməsinə, eləcə də diaqnostika, kriminalistika və bioloji sistematika sahələrində mühüm elmi məsələlərin həllinə şərait yaradır. Sekvensləmə nəticəsində əldə olunan genetik informasiyanın klinik və diaqnostik məlumatlarla birgə təhlili fərdin xəstəliyə tutulma riskinin proqnozlaşdırılması, xəstəliklərin daha erkən mərhələdə aşkarlanması, hədəfə yönəlik və daha dəqiq müalicə strategiyalarının müəyyənəndirilməsi, həmçinin sağlamlıq vəziyyətinin izlənməsi baxımından inqilabi imkanlar təqdim edir.

Genetik tədqiqatlarda mühüm inqilablara səbəb olan DNT sekvens texnologiyaları və onların bioinformatik alətlərlə inteqrasiyası genom məlumatlarının əldə edilməsi və təhlilində yeni imkanlar yaratmışdır. 1990-cı illərdə laboratoriya üsullarının avtomatlaşdırılması genom layihələrinin start götürməsinə və böyük həcmli genom verilənlərin yaranmasına səbəb olmuşdur. Bu proses, öz növbəsində, yaranmış məlumatların analizi, saxlanması və interpretasiyası üçün yüksək hesablama gücünə malik kompüter texnologiyalarının sürətli inkişafına təkan vermişdir. 1995-ci ildə ilk dəfə “bütöv genom şotqan sekvensləmə” üsulu ilə müstəqil şəkildə yaşayan bir orqanizm – *Haemophilus influenzae* bakteriyasının tam genom ardıcılığı müəyyən edilmişdir [2]. Bu üsulla genom DNT-si kiçik fraqmentlərə parçalanaraq sekvens edilir və nəticələr kompüter proqramları vasitəsilə bir araya gətirilərək tam genom ardıcılığı rekonstruksiya olunur. Rekonstruksiya prosesinin tamamilə informatik vasitələrlə həyata keçirilməsi, genom tədqiqatlarında kompüter texnologiyalarının əvəzolunmaz rolunu ön plana çıxarmışdır.

Kompüter texnologiyaların kulminasiya nöqtəsi isə İnsan Genomu Layihəsi olmuşdur. 1990-cı ildən 2003-cü ilə qədər davam edən və təqribən 3 milyard ABŞ dollarına başa gələn bu layihə, ilk dəfə olaraq insan genomunun tam ardıcılığını təqdim etmişdir. Layihənin uğurla başa çatdırılması, əsasən, DNT-nin kiçik və üst-üstə düşən fraqmentlərə bölünərək sekvens edilməsi və onların güclü kompüter alqoritmləri ilə sıralanması nəticəsində mümkün olmuşdur. Bununla belə, layihənin yekununda təqdim edilən ardıcılıq “vahid insan genomu” anlayışı deyil, əksinə, bir neçə fərdin genomunun birləşdirilmiş konsensus ardıcılığı idi. Müasir genomika isə fərdi variasiyaları nəzərə alaraq, hər bir insanın genomunun unikal olduğunu ortaya qoyur. Bu fakt fərdiləşdirilmiş tibb konsepsiyasının əsasını təşkil edir. Fərdi genomların oxunması sahəsində irəliləyişlər nəticəsində “1000 Genom Layihəsi”, “10000 Genom Layihəsi”, “100000 Genom Layihəsi” və “Xərçəng Genomu Atlası” kimi beynəlxalq miqyaslı layihələr həyata keçirilmişdir. Bu layihələrin məqsədi genom variasiyalarının xəstəliklərə təsirini anlamaq, molekulyar diaqnostika və hədəflənmiş müalicə üçün yeni imkanlar yaratmaq olmuşdur. Qeyd edilən layihələrin həyata keçirilməsi və davamlı genişlənməsi Yeni Nəsil Sekvens (YNS) texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi, sekvensləmə xərclərinin 3 milyard dollardan 1000 dollara qədər enməsi, eləcə də yaranan böyük həcmli genom məlumatlarının saxlanması, idarə olunması və təhlili üçün istifadə edilən informasiya texnologiyalarının paralel inkişafı sayəsində mümkün olmuşdur.

II. İNSAN GENOMUNUN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

İnsan genomunun sekvenslənməsi və əldə edilən məlumatların analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, insan genomu təxminən 3.2 milyard nukleotid cütündən ibarətdir və hər hüceyrədə orta hesabla 6 pikoqram DNT mövcuddur. Təhlillər göstərmişdir ki, genlər xromosomlar üzrə qeyri-bərabər paylanmışdır: ən çox gen 1-ci xromosomda, ən az isə Y xromosomunda yerləşir. 22-ci xromosom ən qısa olub 50 Mbp, 1-ci xromosom isə ən uzun olmaqla 260 Mbp ölçüsündədir. Genomun oxunması sübut etmişdir ki, dünya əhalisinin genomları 99.9% eynidir və bu, insanların genetik baxımdan çox yaxın olduğunu göstərir. Bu nəticə insan irqlərinin genetik əsasının olmadığını bir daha təsdiqləmişdir [3].

Genom layihələri, ilk növbədə, insan genlərinin dəqiq sayının müəyyənəşdirilməsinə imkan vermişdir. Müxtəlif layihələrdə bu say dəyişsə də, ümumi nəticələrə əsasən insanda təxminən 20.000 gen mövcuddur. Maraqlıdır ki, bu say bir çox ali bitki növlərindəki gen sayından daha azdır və bəzi onurğasızlarla da müqayisə edilə biləcək səviyyədədir. Bu fakt orqanizmin mürəkkəbliyinin yalnız genlərin sayı ilə izah olunmadığını göstərir. Alternativ spaysinq mexanizmi sayəsində insanda bu genlərdən təxminən 100.000 müxtəlif zülal sintez oluna bilər. Bu isə təkcə genlərin sayının deyil, onların ekspressiya xüsusiyyətlərinin də mühüm rol oynadığını ortaya qoyur. İnsan genomunda təxminən 75% protein-kodlaşdırıcı gen alternativ spaysinqə məruz qalır. Eyni zamanda, bu genlərin əksəriyyəti mərkəzi sinir sisteminin, xüsusilə də beynin inkişaf və fəaliyyətində iştirak edir. İnsan genomu, digər eukariotlarla müqayisədə, daha çox çoxdomeyli zülalları kodlaşdırır. Bundan əlavə, insan proteinləri postranslyasiya modifikasiyalarına daha geniş şəkildə məruz qalır ki, bu da onların funksional müxtəlifliyini artırır [3].

Sekvensləmə nəticələri göstərmişdir ki, insan genomunun yalnız 2%-dən az hissəsi (intronlar xaric edildikdə təxminən 1.2%) protein kodlaşdırır. Genomun təxminən 62%-i isə funksiyası tam məlum olmayan və əvvəllər "lazımsız" (junk) adlandırılan genlərarası sahələrdən ibarətdir. Bu sahələrin böyük hissəsini transpozon elementlər və müxtəlif təkrarlanan ardıcılıqlar təşkil edir. Bu xüsusiyyətlər insan genomunun struktur və funksional mürəkkəbliyini daha dərindən anlamağa imkan verir.

III. YNS TEKNOLOGİYALARI VƏ ONLARIN TƏTBİQİ

Sanger sekvensləməsi birinci nəsil sekvenser texnologiyası kimi uzun illər genom tədqiqatlarında dominant olmasına baxmayaraq, onun bir qədər ləng və bahalı olması tədqiqatçıları və şirkətləri yeni texnologiyalar yaratmağa sövq etmişdir. 2005-ci ildə yaradılan sekvenatorlar sələflərinin çatışmazlıqlarını aradan qaldırmış və yeni nəsil sekvenser (YNS) texnologiyaları adlandırılmışdır. YNS dedikdə massiv-paralel, yəni bir eksperimentdə min və ya milyonlarla DNT fraqmentini paralel şəkildə sekvensləməyə imkan verən metodlar toplusu nəzərdə tutulur. YNS-lərə 2000-ci illərin əvvəllərindən bu günə qədər yaradılmış və II, III və IV nəsil adı ilə tanınan kommersiya xarakterli yüksək məhsuldar sekvensləmə texnologiyaları daxildir.

Bir neçə şirkət tərəfindən müxtəlif illərdə yaradılmış ikinci nəsil sekvenserləri mexanizminə, sekvensləmə prinsipinə, oxunan fraqmentlərin uzunluğuna görə bir-birindən fərqlənir. İkinci nəsil sekvensləmə texnologiyalarında DNT klonlarının oxunmasından əvvəl sekvens kitabxanalarının amplifikasiyasına ehtiyac duyulur. Genom tədqiqatları, xüsusilə *de-novo* sekvensləmə sahəsində əsas üstünlük İllumina şirkətinin sekvenserlərinə aiddir. İllumina və digər II nəsil sekvensləmə platformaları optik sekvensləmə sistemlərinə aid olub, burada floroforlardan əldə edilən işıq siqnalı optik sensorlar vasitəsilə qeydə alınır. İllumina platformasında DNT kitabxanasının yaradılması üçün körpü amplifikasiyası üsulu istifadə edilir və sekvensləmə sintez əsasında həyata keçirilir. Oxunma uzunluğu – 150-300 nc təşkil edib, 600GB həcmində fraqmentlərin oxunması 11 gün ərzində həyata keçirilir. Hal-hazırda İllumina şirkətinin HiSeq2000, 2500, 3500, 4000, NovoSeq, Hi-Seq10 adlanan böyük sekvensləmə cihazları mövcuddur ki, onlar bütün dünyada II nəsil YNS bazarının böyük hissəsini tutur [4].

İon Torrent yarımkeçirici sekvensləmə sistemləri (hazırda Thermo Fisher Scientific) ikinci və üçüncü nəsil sekvenser texnologiyaları arasında keçid təşkil edir. İon Torrent optik sistem istifadə etməyən ilk YNS texnologiyasıdır. Belə ki, digər platformalardan fərqli olaraq, İon Torrent-in iş prinsipi flüorosent işıq siqnalına deyil, sintez zamanı ayrılan H⁺ ionlarının pH-ı dəyişməsinə əsaslanır [5]. pH dəyişməsi yuvacıqların dib hissəsinə bərkidilmiş yarımkeçirici sensorlar tərəfindən qeydə alınır. Hal-hazırda bu texnologiyanın İon PGM, İon Proton və S5 cihazlarından istifadə olunur. İon protonda 165 milyon, İon PGM-də isə 11.1 milyon sensor mövcuddur. Hazırda İon Protonun 1 (P1), İon PGM-in isə 3 çipindən (İon314, İon 316, İon 318) istifadə olunur. İon 314 çipi vasitəsilə 0.5 milyon, İon 318 çipi ilə isə 5.5 milyon fraqment oxunur. İon Proton vasitəsilə 10GB həcmində informasiya əldə edilir. Bu texnologiyalar olduqca sürətli olub bir reaksiya üzrə sekvensləmə 4-5 saat müddətində 99% dəqiqliklə həyata keçirilir [6]. Bu platformalar, əsasən, kiçik genomların oxunmasında, genotipləşdirmədə, ekzom və amplikon sekvensləmədə geniş istifadə olunur. Azərbaycanda ilk genom tədqiqatlarına İon Torrent sistemi ilə başlanılmışdır. Bitkilərin genotipləşdirilməsində istifadə olunan sekvens əsasında genotipləşdirmə və amplikon sekvensləmə üsulları İon Proton və İon PGM cihazları üçün optimallaşdırılmış və müvafiq təlimatlar hazırlanmışdır [7].

Sekvensləmə texnologiyaları sürətlə inkişaf edir, hər bir şirkət öz texnologiyasının çatışmazlığını aradan qaldırmağa çalışır. Bu gün üçüncü nəsil sekvenser texnologiyası kimi tanınan bir çox sekvenserlər geniş istifadə edilməkdədir. İkinci nəsil sekvenser texnologiyalarından fərqli olaraq, burada PZR amplifikasiyasına ehtiyac duyulmur. Bu sekvenserlərin ən məşhur nümunələri “Pacific Bioscience” tərəfindən yaradılan PacBio RSII və Tək molekul Real Vaxt (SMRT) sekvensləmə texnologiyalarıdır [8]. Cihazın nukleotid ardıcılığını düzgün oxuma dəqiqliyi 99,3 %, oxunan fraqmentin uzunluğu 900 n.c.-dir. Lakin eyni fragmenti bir neçə dəfə sekvensləməklə cihazın dəqiqliyini 99.999%-ə yüksəltmək mümkündür [9].

Digər tək molekul sekvensləmə cihazı flüorosent sekvensləmə prinsipi ilə işləyən Helikos sistemidir [10]. Bu

cihaz hibridləşmə əsaslı və DNT polimeraza ilə sintez əsasında sekvensləmə texnologiyalarının kombinasiyası nəticəsində yaradılmışdır [11]. Heliskop sekvensləmədə oxunan fraqmentlərin uzunluğu 25-60 nukleotid cütü arasında dəyişir. Bu texnologiyadan istifadə edilərək insan genomu sekvenslənməsi uğurla həyata keçirilmişdir [12]. Sekvensləmə texnologiyaları içərisində ən ucuz və sürətli texnologiyalardan biri də Nanapor sekvenserləridir. Bu texnologiya ən son tək molekul sekvensləmə platforması olub onun vasitəsilə olduqca uzun fraqmentlər oxunur [13]. Sistemin ilk MinION adlandırılmış cihazı çox kiçik həcmli olub daşıyan sekvensləmə texnologiyasıdır. Texnologiyadan istifadə etməklə həm DNT, həm də RNT-nin sekvenslənməsi aparılır. Alınan məlumatların bioinformatik analizi olduqca asandır. Bununla belə, bəzi tədqiqatlarda MinION texnologiyası ilə aparılan oxunmada xətalərin faizinin yüksək olduğu göstərilir. Laver və həmkarları MinION cihazından istifadə edərək 3 bakteriyanın tam genom sekvenslənməsini həyata keçirmiş, lakin Illumina platforması ilə müqayisədə 38.2% yanlışlığın olduğunu müşahidə etmişlər [14]. Hazırda bu texnologiya sürətlə inkişaf etdirilir və çatışmazlıqlar aradan qaldırılır. Gələcəkdə MinION sayəsində eukariot genomlarının oxunması, transkriptom analizi və epigenetik tədqiqatların yüksək sürətlə həyata keçiriləcəyi proqnozlaşdırılır. 2019-cu ildə Genetik Ehtiyatlar İnstitutunun Molekulyar genetikə və genomika şöbəsində MinION sekvenseri də alınaraq istismara verilmişdir.

IV. GENOM VERİLƏNLƏRİNİN TİBDƏ İSTİFADƏSİ

İnsan sağlamlığı irsi və sonradan qazanılmış genetik fərqliliklərin həyat tərzı və ətraf mühit faktorları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşır. İnsan DNT-sinin 99.9%-i demək olar ki, eyni olsa da, qalan 0.1% fərqlər sağlamlıq vəziyyəti, xəstəliklərə meyillilik, dərmanlara cavab və digər fərdi sağlamlıq xüsusiyyətlərini izah edir.

Tam genom sekvensləmə prosedurunun get-gedə ucuzlaşması genom verilənlərinin tibbdə istifadəsinin genişlənməsinə və sağlamlıq xidmətlərinin daha fərdi, proqnostik və effektiv şəkildə təşkilinə imkan vermişdir. Artıq genom məlumatları yalnız nadir irsi xəstəliklərin diaqnostikasında deyil, həm də hipertoniya, şəkərli diabet, xərçəng kimi geniş yayılmış xəstəliklərin genetik əsaslarının öyrənilməsində mühüm rol oynayır.

Farmakogenetika adlanan dərmanlara fərdi cavab genom tədqiqatlarının ən praktik istiqamətlərindəndir. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bir şəxsin genetik quruluşu onun konkret dərmanlara reaksiyasını, müalicə səmərəliliyini və mümkün yan təsirləri öncədən təxmin etməyə imkan verir [15]. Bu biliklərə əsasən müalicə komandası xəstəyə ən uyğun dərman seçimini edə bilər. Bu yanaşma “tibbi genomika” və ya “fərdiləşdirilmiş tibb” adlanır və ənənəvi “hər kəs üçün eyni müalicə” modelindən uzaqlaşaraq, fərdin genetik quruluşu nəzərə alan daha hədəfli və effektiv yanaşmaya əsaslanır. Onkologiya sahəsində isə xəstəliyin genetik səbəblərinin müəyyən olunması hədəfə yönəlmiş terapiyaların tətbiqinə imkan yaradır. Belə müalicələr xəstəliyə səbəb olan konkret genetik mexanizmləri bloklayaraq daha effektiv və az toksik müdaxilə təklif edir [16].

YNS texnologiyalar, həmçinin prenatal diaqnostikada da mühüm rol oynayır. Əvvəllər invaziv prosedurlar ilə edilən genetik testlər düşüklərə səbəb ola bilirdisə, bu gün ana qanından dölün DNT-sini təhlil etməyə imkan verən qeyri-invaziv prenatal testlər (NIPT) geniş tətbiq olunur. Bu texnologiyalar dölün genetik xəstəliklərini erkən mərhələdə, hamiləlik zamanı müəyyən etməyə, valideynlərin məlumatlı qərar verməsinə və bəzən doğuşdan əvvəl müalicəyə başlamağa imkan verir.

Genom sekvensləmə texnologiyaları yalnız insan DNT-sinin deyil, infeksiyon xəstəlik törədicilərinin də dəqiq analizinə imkan verir. Patogenlərin tam genom ardıcılığının təhlili onların növ və alt növ səviyyəsində identifikasiyasına, genetik mutasiya və antibiotikə davamlılıq profillərinin müəyyən olunmasına şərait yaradır. Bu cür məlumatlar infeksiyanın yayılma yollarını izləməyə, epidemiyaların mənbəyini müəyyən etməyə və effektiv nəzarət strategiyalarını formalaşdırmağa imkan verir. Məsələn, COVID-19 pandemiyası dövründə virusun müxtəlif ştammlarının vaxtında müəyyən edilməsi və onların genetik fərqlərinin izlənməsi pandemiyanın idarə olunmasında mühüm rol oynamışdır. Bununla da, genom texnologiyaları infeksiyon xəstəliklərin sürətli diaqnostikası və onların yayılmasına qarşı mübarizədə mühüm vasitəyə çevrilmişdir.

Genom məlumatlarının geniş istifadə olunduğu sahələrdən biri də biobanklardır. Biobanklar (bioresurs mərkəzləri) bioloji nümunələri və onların müşayiət edən məlumatlarını toplayaraq tədqiqatlar üçün saxlayır. Məsələn, Böyük Britaniyada yerləşən UK Biobank 500,000 iştirakçının məlumatlarını müxtəlif elektron sağlamlıq qeydləri ilə birləşdirərək genişmiqyaslı genom-tibb tədqiqatlarının aparılmasına şərait yaradır. Belə resurslar genetik variantların xəstəliklərlə əlaqəsini müəyyən etməkdə və müalicə alqoritmlərinin təkmilləşdirilməsində mühüm rol oynayır.

Genom tədqiqatlarının effektiv aparılmasında kompüter texnologiyaları həlledici əhəmiyyət daşıyır. Böyük verilənlərin təhlilində süni intellekt, dərin öyrənmə və kognitiv hesablamalar kimi qabaqcıl alqoritmlər geniş tətbiq olunur. Bu yanaşmalar çoxölçülü və müxtəlif mənbəli məlumatların inteqrasiyasını təmin edərək daha dəqiq diaqnostika və proqnoz modellərinin hazırlanmasına imkan yaradır [17].

Beləliklə, genom məlumatlarının tibbi praktikalara inteqrasiyası, diaqnostika və müalicənin yeni səviyyəyə qalxmasına, bir çox xəstəliklərin erkən aşkarlanmasına və proqnozun yaxşılaşmasına, nəticədə isə insanların ömrünün və həyat keyfiyyətinin yüksəlməsinə səbəb ola bilər.

V. NƏTİCƏ

Genom sekvensləmə texnologiyalarının sürətli inkişafı və maliyyətinin azalması nəticəsində insan genomu ilə bağlı məlumatların əldə olunması və təhlili geniş vüsət almışdır. Bu texnologiyalar fərdi genetik variasiyaların aşkarlanması və onların tibbi əhəmiyyətinin müəyyənəşdirilməsi üçün inqilabi imkanlar yaratmışdır.

Fərdiləşdirilmiş tibb yanaşması genom məlumatlarının praktiki tətbiqinə əsaslanaraq, xəstəliklərin erkən diaqnostikası, risklərin proqnozlaşdırılması və pasiyentə uyğun hədəfli

müalicə üsullarının seçilməsinə şərait yaradır. Xüsusilə farmakogenetika və onkogenetika sahələrində bu yanaşma daha effektiv və təhlükəsiz müalicə strategiyalarını mümkün etmişdir.

YNS texnologiyalarının tətbiq sahələrinin genişlənməsi prenatal diaqnostika kimi bir çox sahədə daha dəqiq və sürətli qərarların qəbulunu mümkün etmişdir. Qeyri-invaziv prenatal testlər bu texnologiyaların klinik praktikadakı uğurlu nümunələrindəndir.

Virus və bakteriyaların genomlarının analizi onların yayılma yollarının izlənməsi, mutasiyaların aşkarlanması və epidemioloji nəzarət üçün əhəmiyyətlidir.

İSTİFADLAR

- [1] Shendure, J.A., Porreca, G. J., Church, G. M. Overview of DNA sequencing strategies // *Current Protocols in Molecular Biology*, - 2008. №81(1), - p. 7-1.
- [2] Fleischmann, R.D., Adams, M.D., White, O., Clayton, R.A., et al. Whole-genome random sequencing and assembly of *Haemophilus influenzae* Rd. // *Science*, -1995. №269(5223), -p. 496-512.
- [3] Collins, F.S., Mansoura, M.K. The human genome project: revealing the shared inheritance of all humankind // *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*, -2001. №91(S1), -p. 221-225.
- [4] Balasubramanian, S. Solexa sequencing: Decoding genomes on a population scale // *Clin Chem.*, - 2015. №61, - p. 21–24.
- [5] Rothberg, J.M. An integrated semiconductor device enabling non-optical genome sequencing / J.M.Rothberg, W.Hinz, T.M.Rearick [et al.] // *Nature*, - 2011. №475, - p. 348–352.
- [6] Liu, L. Comparison of next-generation sequencing systems / L.Liu, Y.Li, S.Li [et al.] // *J Biomed Biotechnol.*, - 2012. – p. 1-11
- [7] AMEA Genetik Ehtiyatlar İnstitutunda “Gələcək Nəsil Sekvenseri” adlı yeni aparat quraşdırılıb: [Elektron resurs] / Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası. – 2014. URL: <http://www.science.az/news/open/331>
- [8] Eid, J. Real-time DNA sequencing from single polymerase molecules / J.Eid, A.Fehr, J.Gray [et al.] // *Science*, - 2009. №323, - p. 133–138.
- [9] Koren, S. Reducing assembly complexity of microbial genomes with singlemolecule sequencing / S.Koren, G.P.Harhay, T.P.Smith [et al.] // *Genome Biol.*, - 2013. №14, - 1-1.
- [10] Shendure, J. Next-generation DNA sequencing / J.Shendure, H.Ji // *Nat Biotechnol.*, - 2008. №26, - p. 1135–1145.
- [11] Fuller, C.W. The challenges of sequencing by synthesis / C.W.Fuller, L.R.Middendorf, S.A.Benner [et al.] // *Nat Biotechnol.*, - 2009. 27, - p. 1013– 1023.
- [12] Pushkarev, D. Single-molecule sequencing of an individual human genome / D.Pushkarev, N.F.Neff, S.R.Quake // *Nat Biotechnol.*, - 2009. №27, - p. 847–852.
- [13] Bayley, H. Nanopore sequencing: From imagination to reality // *Clin Chem.*, - 2015. №61, - p. 25–31.
- [14] Laver, T. Assessing the performance of the Oxford Nanopore Technologies MinION / T.Laver, J.Harrison, P.A.O'Neill [et al.] // *Biomol Detect Quant.*, - 2015. №3, - p. 1–8.
- [15] Cirillo D., Valencia A. Big data analytics for personalized medicine // *Curr. Opin. Biotechnol.*, - 2019. №58, -p. 161–167.
- [16] Masoudi-Nejad A., Wang E. Cancer Modeling and Network Biology: Accelerating toward Personalized Medicine // *Semin. Cancer Biol.*, - 2015. №30, -p. 1–3.
- [17] Auffray C., Balling R., Barroso I., Bencze L., Benson M., Bergeron J., Bernal-Delgado E., Blomberg N., Bock C., Conesa A. Making sense of big data in health research: Towards an EU action plan // *Genome Med.*, - 2016. №8, -p. 1–13

Neural Networks for Acute Lymphoblastic Leukemia Detection

Airam Curtidor¹, Tetyana Baydyk²

¹Universidad Nacional Rosario Castellanos, Mexico City, Mexico

²ICAT, UNAM, Mexico City, Mexico

¹curtidor.airam928@rcastellanos.cdmx.gob.mx, ²t.baydyk@icat.unam.mx

Abstract— We have developed and present here the method for the detection and classification of white blood cells using microscopic images of peripheral blood smears. It was proposed describing the images using brightness, contrast, and micro-contour orientation histograms. Each of these descriptions provides a coding of the image, which in turn provides n parameters. The extracted characteristics are presented to an encoder's input of the neural network. The encoder generates a high-dimensional binary output vector, which is presented to the input of the neural classifier. This paper presents the performance of one classifier, the Random Threshold Classifier (RTC). The classifier's output is the recognized class, which is either a healthy cell or an Acute Lymphoblastic Leukemia-affected cell. The proposed RTC achieved a recognition rate of 98.3 % when the data has partitioned in proportion: 80 % for training set and 20 % for testing set..

Keywords— RTC neural classifier; image processing; cell analysis; detection of white blood cells; leukemia classification

I. INTRODUCTION

Artificial Intelligence (AI) is currently used in a wide variety of fields, including the medical field. With the aid of various AI techniques, specialized software for the early diagnosis of diseases can be developed [1–3].

In the study [4] AI techniques are applied to analyze and recognize images captured by a microscope of human peripheral blood smear samples. A tool is developed using computer vision and neural networks to help detect possible changes in the size and shape of the different blood cells, with a focus on lymphocytes, for the detection of Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL) [4]. The morphological assay can add information about the pathophysiology of COVID-19 disease and its progression. In this type of analysis, hematological abnormalities that occur in patients affected by severe viral pneumonia with clinical consequences that can end in multiple organ failure were detected [5–8].

A normal blood consists of three main components: red blood cells (erythrocytes), white blood cells (WBC) or leukocytes, and platelets. Leukocytes are easily distinguishable due to the fact that their nuclei are darker than the background. Granulocytes are leukocytes containing granules, including neutrophils, basophils, and eosinophils. Cells without granules are called mononuclear and include lymphocytes and monocytes, Fig. 1. The percentage of lymphocytes in human blood ranges from 20 % to 45 %, and

their size ranges from 7 to 15 micrometers. They are distinguished by a round nucleus and poor cytoplasm. ALL affects a group of leukocytes called lymphocytes and is caused by the excessive production of immature white blood cells called lymphoblasts (also known as blastic cells), which inhibit the production of normal white blood cells. ALL lymphoblasts are characterized by additional morphological alterations that exacerbate the severity of the disease. In particular, lymphocytes have a regular shape and a compact nucleus with regular and continuous borders. In contrast, lymphoblasts have an irregular shape and contain small cavities in the cytoplasm, called vacuoles, and spherical particles within the nucleus, called nucleoli [9]. Leucocyte classification for leukemia detection using Image Processing Techniques (IPT) was proposed in [10].

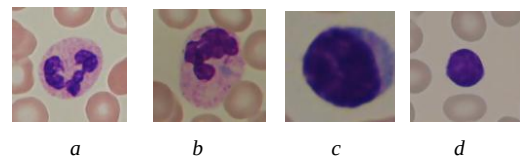


Fig. 1. Examples of white blood cells (leukocytes):

a – neutrophils, b – basophils,

c and d – lymphocytes with ALL [4]

Cells in human blood can be counted using image processing techniques, which at the same time may provide information on cell morphology. A system for the automatic detection of ALL-affected cells is first based on image acquisition using a camera attached to a microscope. The most challenging task in image processing is the segmentation of complex images, such as blood cells, due to their complex nature and overlapping of these cells. Then from each cellular component, different characteristics, such as shape, color, and/or texture as well as their combinations, most of which are problem-specific, are extracted, and the classifier will detect ALL-affected lymphocytes or not from this data.

The problem of white blood cell identification and classification is focused in [11]. The proposed system first separates leukocytes from other blood cells in the blood image, then extracts morphological indices, and finally classifies the leukocytes using a neural classifier. To improve the image, low-pass, and band-pass filters are applied to reduce noise if they do not have good illumination [12]. The authors focus on the segmentation process of blood images to extract significant parts or regions of interest and propose an

intuitionistic fuzzy set approach for optimal threshold selection based on histogram calculations.

Using active contour models that are initialized with morphological operators, cells are segmented in [13]. Functions based on shape and texture are used for classification. An effective technique for automatically segmenting blood cell nuclei is described in [14]. The technique is based on the enhancement and filtering of grayscale contrast. A very detailed review of the different proposals reported in the literature on methods of segmentation, extraction of characteristics, and classification of white blood cells or leukocytes is presented in [15] – [17].

Various segmentation techniques, such as, Hough transform, thresholding techniques, boundary-based segmentation, and region-based segmentation, have been proposed to achieve efficient and accurate results [18–20].

Tests on public datasets for leukemia detection, SMC-IDB, IUMS-IDB, and ALL-IDB, were conducted and achieved an ALL-classification accuracy of 94.1 % [21],

One of the ways to increase the accuracy and speed of recognition algorithms is to use a convolutional neural network (CNN). It was introduced a CNN in conjunction with a Kohonen network, the first to provide the system with the ability to detect and recognize objects and the second to find areas of interest. The combination of the above methods allows to speed up the process of searching and recognizing objects in images [22, 23].

It is important to emphasize that all of the listed works use different methods for the recognition and classification of images of healthy and ALL-affected blood cells. In this work let's present our neural classifier called Random Threshold Classifier (RTC), as well as our approach of the extraction of texture features. The task of medical images recognition is actual and important.

II. MATERIALS AND METHODS

There are different proposals to detect ALL using different artificial intelligence methodologies. They use the ALL-IDB database [24]. This database is popular to compare different methods and algorithms. Let's analyze the results that were obtained with this image database.

There were algorithms and showed the classification of the acute lymphoblastic leukemia into its three respective categories namely: L1, L2, L3, achieved an overall accuracy of 98.6 % [25].

It was used fuzzy c-means (FCM) clustering for nuclei segmentation [26]. They extracted, five geometrical features (area, perimeter, solidity, eccentricity and extent) and, 36 statistical features (mean, standard deviation, energy, entropy, skewness and kurtosis) are calculated from the image histogram of the red, green and blue, plus the hue, saturation and enhanced value channels from the pixels located in nuclei, respectively. In this way they obtained 41 components and selected 13 of the best features. For the classification of L1, L2, L3, normal, reactive and atypical cells, Random Forest (RF) classifier was applied and result was in 98 % accuracy.

It was proposed a hybrid model based on deep convolutional neural networks (CNNs) and a deep residual network named ResNet-50 V2 [27], to predict ALL. They trained the deep residual network using the optimized hyperparameters by genetic algorithms (GA), reaching higher performance against approaches without optimization and optimization using random search and Bayesian algorithms [28]. The results show that the GA optimization improves the accuracy of the classifier, obtaining 98.46 %.

The authors did two experiments: in one of them they obtained 98.62 % when the data has been partitioned on training and testing sets as 80 % and 20 %, and in the second experiment they obtained 97.73 % when the data has been partitioned as training and testing images as 60 % and 40 % [29].

It was proposed an improved Adaptive Network-Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) model to predict leukemia data using an Euclidean distance to measure between the trained feature data and the test feature data [30]. Improved ANFIS obtained the best accuracy of 97.14 %.

Classification of white blood cells into healthy and unhealthy using Support Vector Machine (SVM) learning model was presented in [31]. Image features are extracted with transfer learning approach of deep convolutional neural network using AlexNet pretrained model. AlexNet is an eight layered convolutional neural network. This model is introduced by Alex Krizhevsky at University of Toronto in 2010 [32]. This approach validates the process of discriminating white blood cells into healthy and acute lymphoblastic leukemia affected unhealthy cells with 96.15 % of accuracy.

A computer-aided automated diagnosis system for detection of acute lymphoblastic leukemia (ALL) using deep-learning models is discussed in [33]. The work implemented in this paper does not require any preprocessing, the raw image is fed in this model for performing both feature extraction and classification task. This proposed method achieves an accuracy of 98 %.

A micro-pattern descriptor, called Local Directional Number Pattern (LDNP) along with Multi-scale Weber Local Descriptor (MWDT) for feature extraction task to determine cancerous and noncancerous blood cells are discussed and presented in [34].

The k-means clustering algorithm for segment the images. Based on the colour, texture and shape the image pixels are grouped as three clusters. The texture features were extracted as Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) and Local Binary Pattern (LBP) are used in [35]. Support vector machine (SVM) with Gaussian radial basis function (RBF) as kernel is used for classification. They obtained an accuracy of 95.3 % for ALL-IDB2 database.

So, last year's active attention of scientists and engineers is attracted to the problem of automatic recognition and classification of blood cells for different types of diseases. Analysis of WBC from blood can help to detect ALL, COVID-19 disease or other illness.

We have proposed an automated method for the identification and classification of white blood cells using microscopic images of peripheral blood smears and neural Random Threshold Classifier (RTC) [36] and Limited Receptive Area (LIRA) Neural Classifier [37] that we do not describe here in detail.

The aim of this study is to develop a method for automated classification of blood cell images for the diagnosis of various diseases, which allows increasing the recognition rate in the diagnosis of diseases. To achieve the goal, the following tasks are required:

- the development of algorithms of feature extraction from images;
- the development of neural networks as element of decision making;
- programming of the algorithms of feature extraction from images and neural network method;
- testing them on selected image database.

Assumptions accepted in the work are the following:

- it is possible to extract different features of the images of the blood as from patients with diseases and from images of healthy persons;
- neural network can be trained and after that can be used to recognize new images of blood cells.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Texture Recognition in Blood Smear Images

The task of image recognition of lymphocytes affected by ALL consisted from several steps. The first step requires selecting the cells that are affected by the disease. A typical blood image consists of three components: red blood cells (erythrocytes), leukocytes, and platelets. Therefore, let's focus on leukocytes, specifically lymphocytes. Fig. 2 depicts a sample image from the ALL-IDB2 database [24] containing two healthy cells from patients without ALL and two probable blast cells. The second step includes the calculation of texture features. The third step includes the training of neural classifier.

The method of French-American-British co-operative group (FAB) is used in medicine for a long time to classify a cell as a blast or normal [38]. The FAB classification for acute lymphoblastic leukemia is divided into three categories:

L1: Lymphoblasts are small and homogeneous. The nuclei are round and regular with little cleavage and discrete nucleoli. The cytoplasm is scant and usually without vacuole.

L2: Lymphoblasts are massive and diverse. The nuclei are irregular and frequently cleft. Nucleoli are present. The cytoplasm may contain vacuoles, and its volume is variable but typically abundant.

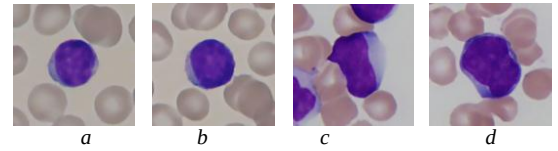


Fig. 2. Images from the ALL-IDB2 database [24]:
a and b present healthy cells from patients without ALL;
c and d present probable lymphoblasts from patients with ALL

L3: Lymphoblasts range in size from moderate to large and are homogeneous. One or more prominent nucleoli are present. The shape of the nuclei is regular and round-oval. The cytoplasm is moderate in volume and contains numerous prominent vacuoles.

The RTC includes the following blocks: Input data, Characteristic extractor, Encoder, Classifier, and Recognition class (ALL cells or Normal cells). The extracted characteristics are presented to the input of the encoder. The encoder generates the output binary vector, which is then presented to the input of the single-layer neural classifier, and, finally, the classifier's output provides the recognized class, which in this case consists of two classes, healthy cell, and affected cell [36, 39, 40].

B. Characteristic Extractor

This module is based on the image processing procedure. It provides with the necessary information to distinguish a leukocyte from the other cells in the peripheral blood image, as well as the characteristics that distinguish a lymphocyte from a lymphoblast. This system includes color, texture, and border characteristics represented through their histograms, and these characteristics are obtained from the nucleus of every lymphocyte or lymphoblast discovered by the system. To achieve this, an initial image is scanned by moving a (20×20)-pixel window with a 10-pixel step. Three brightness, contrast, and contour orientation histograms were calculated for each window. Each histogram consists of 16 components, for a total of 48 components or features that will comprise the input vector X for the RTC classifier.

C. Characteristic Encoder

The characteristic encoder converts the extracted properties given by the property or characteristics extractor into a binary vector. Encoding then creates a binary vector b for all blocks. This vector is presented as the classifier's first layer. The proposed classifier's first layer follows the same training rule as a one-layer perceptron.

D. Random Threshold Classifier (RTC)

It is proposed a neural classifier with high performance both in training and processing. Random Threshold Classifier (RTC) is the name of this classifier [39, 40]. The basic idea is to create multilayer perceptrons with a single layer of training connections, which allows a rapid training rate. Placing additional non-modifiable layers of connections and binary neurons that allow nonlinear transformations of spatial input parameters to binary spatial parameters with extremely high

dimensions improves image recognition accuracy.

The RTC structure is depicted in Fig. 3. The network structure is comprised by s similar blocks with a neural output in each block. A complete set of X input characteristics supplies each block's inputs.

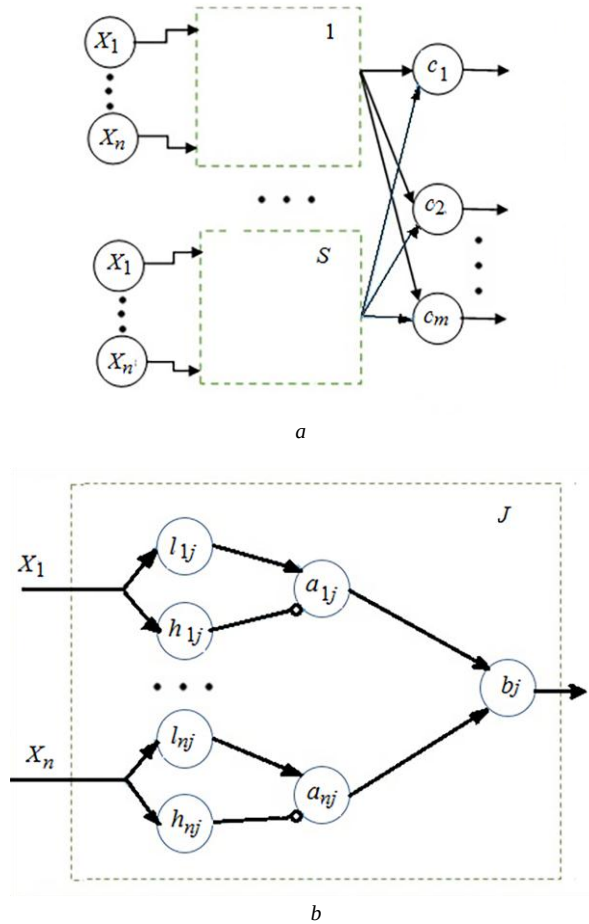


Fig. 3. Random threshold neural classifier: a – the whole structure; b – structure of one block

Now let's describe the one block functioning (Fig. 3, b). Each X characteristic feeds two neurons, one neuron with high threshold (h) and other neuron with low threshold (l), where S represents the number of neuron blocks. The low threshold value falls always below the high threshold value. A unique random procedure determines these values. The output of the neuron with low threshold is connected to the excited input of the next neuron a , and the output of the neuron with high threshold is connected to the inhibited output of the next neuron a . At the output of a neuron, the signal only occurs when the input signal X is between low and high values of thresholds. All outputs of a neurons within a j block are connected to the excited inputs of b output neuron, which represents the whole neural block output.

The b neuron is analogue of a logical element “And” i. e., in the b neural output, the signal is generated when all a neurons within the block are excited. The neural output for

each block is connected to all the neural inputs of the last layer c of the classifier through trainable connections. The c neuron in the last or response layer are associated with class to be recognized. The weights of trainable connections between b and c neurons are modified at each training stage. Each c neuron represents a classification response of the system, and the neuron with the greatest excitation value is chosen as classifier response.

The classifier works in two ways: training and recognition. For training connections, Hebbian's rule is applied.

$$w_{jc}(t+1) = w_{jc}(t) + a, \quad (1)$$

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) - a, \quad (2)$$

in which the c index represents the correct class, and the index i represents the incorrect class.

The neural network undergoes a training phase whose objective is to correctly recognize as many patterns as possible. The training consists of decreasing all the weights of the connections of the incorrect class and increasing those of the correct class, which leads us to supervised or master training.

In order to understand the principles mentioned above, let's interpret them geometrically, as shown in Fig. 4, for a case with three input variables X_1 , X_2 , and X_3 , so for three-dimensional task instead of n dimension as presented in Fig. 3.

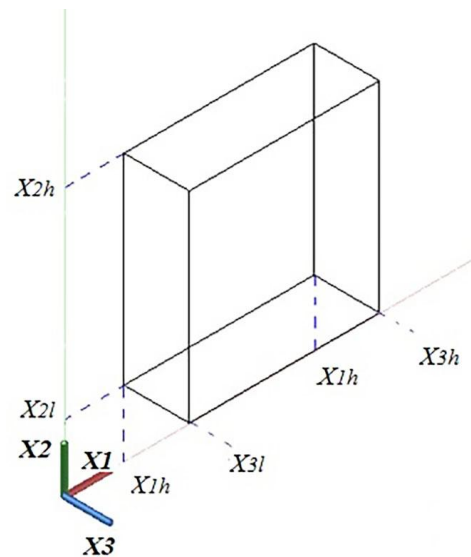


Fig. 4. Geometric identification of the neuron

When the point representing the feature vector is inside the represented rectangle, the output neuron that is corresponded to the block output will be stimulated or active. Since the classifier contains a sufficient number of blocks with similar (neurons with thresholds) but different characteristics (different values of thresholds), all spatial features appear in a sufficient number of multidimensional parallelepipeds located on random planes and having random sizes. Let's demonstrate the geometrical interpretation only for three input parameters.

The number of parallelepipeds is equal to the number of blocks. It is possible to analyze the point in space (X_1^*, X_2^*, X_3^*) shown in Fig. 5 where numerous (V) parallelepipeds have been covered. With the training process and definition of weights between penultimate and last layers the neural classifier can divide the parametric space on different classes.

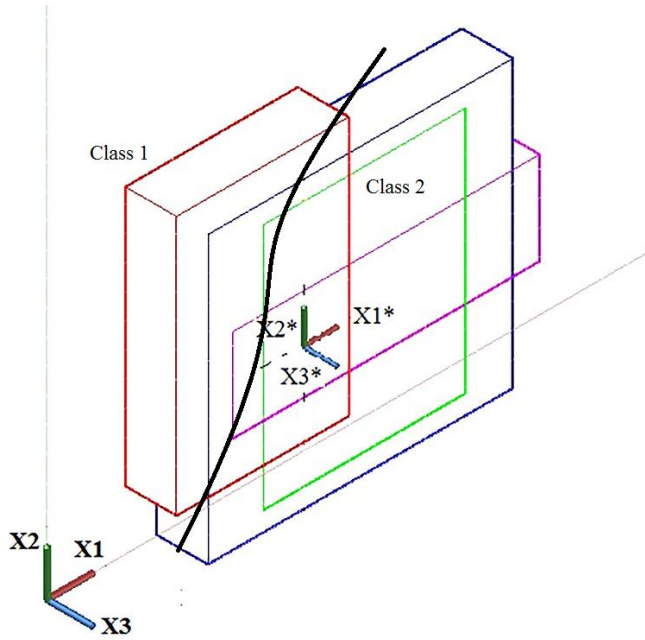


Fig. 5. A geometric representation of the classifier

Taking into account the need to distinguish three classes, let the point (X_1^*, X_2^*, X_3^*) belong to the second class. If the point is far from the class boundary, it is covered by parallelepipeds whose volumes lie within the class boundary of the second class. This implies that during the training process, the weights of the connections between neurons b and c will contribute to the second class. Therefore, the point (X_1^*, X_2^*, X_3^*) will be recognized as belonging to the second class.

E. Database Description: ALL-IDB

ALL-IDB [24] is a public imaging database of peripheral blood samples from healthy individuals and leukemia patients. These samples were gathered by professionals at the M. Tettamanti Research Center for Childhood Leukemia and Hematological Diseases in Monza, Italy. The ALL-IDB database is comprised of two different versions, ALL-IDB1 and ALL-IDB2, and its images are in JPG format with 24-bit color depth. ALL-IDB1 is comprised of 108 original RGB images captured with a laboratory optical microscope and an Olympus Optical C2500L camera or a Canon Power Shot G5 camera. The resolution of the first 33 images is 1712×1368 , while the remaining images have a resolution of 2592×1944 .

The images were taken at different microscope magnifications, ranging from 300 to 500, which brought the differences in color and brightness. ALL-IDB1 provides complete images containing cells and agglomerates; thus, it can be used to evaluate the segmentation capabilities of algorithms, as well as the image preprocessing techniques or the classification systems. ALL-IDB2 is a collection of clipped areas of interest from blastic and healthy cells extracted from ALL-IDB1. It consists of 260 images, with 50 % of these depicting lymphoblasts.

F. Comparison of Results

To present the results obtained by the RTC neural classifier, the aforementioned ALL-IDB2 database was employed, along with 100 images, of which 60 were used for training and the remaining 40 for testing.

The graphical user interface is comprised of a menu with the following options: Fig. 6: Mask generation, Open Image-Coding, Training, and Recognition.

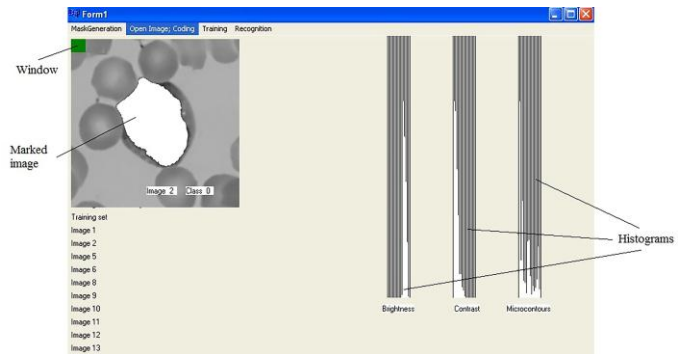


Fig. 6. Principle menu and scan of image with 20×20 window

In the first option, “Mask generation” is the first part of the RTC classifier structure. The program randomly selects images from the ALL-IDB database for the training phase, where half of the images are selected for training and the other half for testing. The following option – “Open Image-Coding” – is where the 100 images in the database are opened and encoded. It is performed a scan of a (20×20) pixels window. Where there are three classes, one of them corresponds to class zero (0), which helps us identify the background of the image; the next class (1) for the case where there are no cells affected by the ALL disease, i.e., healthy cells, and finally, class two (2) where there are cells affected by the ALL disease (lymphoblasts). For each of these classes, the histograms of brightness, contrast, and micro-contour orientation for the window are computed, and thereafter those data are codified.

Once this process is finished, the “Training” option will begin, which, as mentioned above, consists of decreasing all the weights of the connections of the incorrect class and increasing those of the correct class, the objective of which is to correctly recognize the most significant number of patterns. Finally, there is the “Recognition” option in which the remaining half of the images, which were not used in the

training phase, are used. At this stage, it is possible to visualize the number of errors, and with these, it is possible to calculate the recognition percentage of our system. It is worth mentioning that to obtain 48 texture characteristics of the area of interest which is the nucleus, as shown in Fig. 6.

Experiments with RTC demonstrate that the results were superior to the best result obtained in [34] and significantly superior to those obtained using SVM-G in [35]. It should be noted that all mentioned methods utilize the ALL-IDB database.

The RTC neural classifier demonstrated a higher recognition percentage of 98.3 % compared with 95.3 % of the SVM-G and of 97.69 % [36, 41]. So our neural classifier may be used to identify the lymphoblasts using images of the healthy or diseased cells. The LIRA demonstrated the best recognition rate of 96.56% [37].

As shortcomings of this study it is possible to note that it is used only one image database. For effective application of neural classifiers it is very important to increase the number of images for training process. The time of training may demand hours or days. But it is possible to use pre-trained neural networks.

IV. CONCLUSIONS

The neural classifier with the title the Random Threshold Classifier (RTC) was used to recognize the texture of human blood cells images, with a focus on white blood cells (leukocytes). The classification of healthy lymphocytes and diseased lymphocytes, also known as lymphoblasts was selected as test task. At the input of the RTC classifier, brightness histograms, contrast histograms, and micro-contour orientation histograms were calculated for each image from the ALL-IDB database, generating a characteristics vector that would be the input of the neural classifier. The specialized program is developed using C++ to extract the characteristics of interest and to train and test the images with RTC neural classifier. The program system permits us to recognize where the healthy or diseased cells are detected. The RTC neural classifier demonstrated a higher recognition percentage of 98.3 % . So our neural classifier may be used to identify the lymphoblasts using images of the healthy or diseased cells. The LIRA demonstrated the best recognition rate of 96.56%.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Labati et al for sharing the Acute Lymphoblastic Leukemia image database (ALL-IDB).

The special acknowledgment from Dra. Airam Curtidor for poststudent grant SECIHTI, Mexico.

REFERENCES

- [1] C. González, “Recognition of Textures in Medical Images”. UNAM. 2011. Available at: <https://xdoc.mx/documents/tesis-unam-5ddae474b690d>
- [2] M. Mammadova, N. Bayramov, Z.Jabrayilova, “Development of the principles of fuzzy rule-based system for hepatocellular carcinoma staging”, EUREKA: Physics and Engineering, 3, 2021, pp. 3–13. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001829>
- [3] M. Mammadova,, Z. Jabrayilova, “Synthesis of decision making in a distributed intelligent personnel health management system on offshore oil platform”, EUREKA: Physics and Engineering, 4, 2022, pp. 179–192. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002520>
- [4] J. Huerta Aragonés, E. E. Cela de Julián, “Practical Hematology: Interpretation of the Complete Blood Count and Coagulation Tests”, 2019, Madrid: Lúa Ed. 3.0, 507–528.
- [5] M. S. Rahi V., Jindal, S.-P. Reyes, K. Gunasekaran, R. Gupta, I. Jaiyesimi, “Hematologic disorders associated with COVID-19: a review. Annals of Hematology”, 100 (2), 2021, pp. 309–320. doi: <https://doi.org/10.1007/s00277-020-04366-y>
- [6] G. Zini, S. Bellesi, F. Ramundo, G. d’Onofrio, “Morphological anomalies of circulating blood cells in COVID-19”, American Journal of Hematology, 95 (7), 2020, pp. 870–872. doi: <https://doi.org/10.1002/ajh.25824>
- [7] C. Salib, P. Khattar, J. Cheng, J. Teruya-Feldstein, “Atypical Peripheral Blood Cell Morphology in COVID-19 (Sars-CoV-2) Patients from Mount Sinai Health System in New York City”. Blood, 136, 2020, pp. 26–27. doi: <https://doi.org/10.1182/blood-2020-142581>
- [8] G. Introcaso, M. L. Biondi, “Morphological anomalies of blood cells in COVID-19 patients”, Open J Clin Med Images, 2 (2), 2022, 1080. Available at: <https://www.jclinmedimages.org/articles/OJCMi-v2-1080.pdf>
- [9] Guía de Referencia Rápida Diagnosis and Treatment Lymphoblastic Leukemia Acute In The Adult. Instituto Mexicano del Seguro Social. Dirección de Prestaciones Médicas. Unidad de Atención Médica. Coordinación de Unidades Médicas de Alta Especialidad. División de Excelencia Clínica, 2018 .
- [10] L. Putzu, G. Caocci, C. Di Ruberto, “Leucocyte classification for leukaemia detection using image processing techniques”, Artificial Intelligence in Medicine, 62 (3), 2014, pp. 179–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2014.09.002>
- [11] V. Piuri, F. Scotti, “Morphological classification of blood leucocytes by microscope images”, 2004 IEEE International Conference On Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 2004. doi: <https://doi.org/10.1109/cimsa.2004.1397242>
- [12] C. D. Ruberto, L. Putzu, “Accurate Blood Cells Segmentation through Intuitionistic Fuzzy Set Threshold”, 2014 Tenth International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems, 2014. doi: <https://doi.org/10.1109/sitis.2014.43>
- [13] G. Ongun, U. Halici, K. Leblebicioglu, V. Atalay, M. Beksac, S. Beksac, “An automated differential blood count system”, 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2001. doi: <https://doi.org/10.1109/iembs.2001.1017309>
- [14] M. Mohamed, B. Far, A. Guaily, “An efficient technique for white blood cells nuclei automatic segmentation”, 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2012. doi: <https://doi.org/10.1109/icsmc.2012.6377703>
- [15] E. A. Mohammed, M. M. A. Mohamed, B. H. Far, C. Naugler, “Peripheral blood smear image analysis: A comprehensive review”, Journal of Pathology Informatics, 5 (1), 2014, 9. doi: <https://doi.org/10.4103/2153-3539.129442>
- [16] H. T. Madhloom, S. A. Kareem, H. Ariffin, A. A. Zaidan, H. O. Alanazi, B. B. Zaidan, “An Automated White Blood Cell Nucleus Localization and Segmentation using Image Arithmetic and Automatic Threshold”, Journal of Applied Sciences, 10 (11), 2010, pp. 959–966. doi: <https://doi.org/10.3923/jas.2010.959.966>
- [17] N. H. A. Halim, M. Y. Mashor, R. Hassan, “Automatic Blasts Counting for Acute Leukemia Based on Blood Samples”, Intern. J. of Research and Reviews in Computer Science, 2 (4), 2011, pp. 971–976. Available at: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/automatic-blasts-counting-acute-leukemia-based-on/docview/903775031/se-2>
- [18] J. A. Tang, “A color image segmentation algorithm based on region growing”, 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, 2010. doi: <https://doi.org/10.1109/iccet.2010.5486012>
- [19] E. Navon, O. Miller, A. Averbuch, “Color image segmentation based on adaptive local thresholds”, Image and Vision Computing, 23 (1),

- 2005, pp. 69–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2004.05.011>
- [20] A. I. Mahameed, M. K. Ahmed, N. B. Abdullah, “Iris recognition method based on segmentation”, EUREKA: Physics and Engineering, 2, 2022, pp. 166–176. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002341>
- [21] C. Di Ruberto, A. Loddo, G. Puglisi, “Blob Detection and Deep Learning for Leukemic Blood Image Analysis”, Applied Sciences, 10 (3), 2020, 1176. doi: <https://doi.org/10.3390/app10031176>
- [22] V. Skuratov, K. Kuzmin, I. Nelin, M. Sedankin, “Application of a convolutional neural network and a kohonen network for accelerated detection and recognition of objects in images”, EUREKA: Physics and Engineering, 4, 2020, pp. 11–18. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001360>
- [23] V. Skuratov, K. Kuzmin, I. Nelin, M. Sedankin, “Application of kohonen self-organizing map to search for region of interest in the detection of objects”, EUREKA: Physics and Engineering, 1, 2020, pp. 62–69. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001133>
- [24] R. D. Labati, V. Piuri, F. Scotti, “All-IDB: The acute lymphoblastic leukemia image database for image processing”, 2011 18th IEEE International Conference on Image Processing, 2011. doi: <https://doi.org/10.1109/icip.2011.6115881>
- [25] V. Acharya, P. Kumar, “Detection of acute lymphoblastic leukemia using image segmentation and data mining algorithms”, Medical & Biological Engineering & Computing, 57 (8), 2019, pp. 1783–1811. doi: <https://doi.org/10.1007/s11517-019-01984-1>
- [26] P. Mirmohammadi, M. Ameri, A. Shalbaf, “Recognition of acute lymphoblastic leukemia and lymphocytes cell subtypes in microscopic images using random forest classifier”, Physical and Engineering Sciences in Medicine, 44 (2), 2021, pp. 433–441. doi: <https://doi.org/10.1007/s13246-021-00993-5>
- [27] K. He, X. Zhang, S. Ren, Sun J., “Identity Mappings in Deep Residual Networks”, Lecture Notes in Computer Science, 2016, pp. 630–645. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46493-0_38
- [28] L. F. Rodrigues, A. R. Backes, B. A. N. Travençolo, G. M. B. de Oliveira, “Optimizing a Deep Residual Neural Network with Genetic Algorithm for Acute Lymphoblastic Leukemia Classification”, Journal of Digital Imaging, 35 (3), 2022, pp. 623–637. doi: <https://doi.org/10.1007/s10278-022-00600-3>
- [29] S. Chand, V. P. Vishwakarma, “A novel Deep Learning Framework (DLF) for classification of Acute Lymphoblastic Leukemia”, Multimedia Tools and Applications, 81 (26), 2022, pp. 37243–37262. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13543-2>
- [30] M. A. Rejula, S. Amutha, G. M. Shilpa, “Classification of acute lymphoblastic leukemia using improved ANFIS”, Multimedia Tools and Applications, 82 (23), 2023, pp. 35475–35491. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15113-6>
- [31] T. V. Renuka, B. Surekha, “Acute-Lymphoblastic Leukemia Detection Through Deep Transfer Learning Approach of Neural Network”, Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, pp. 163–170. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-4073-2_17
- [32] G. Litjens, T. Kooi, B. E. Bejnordi, A. A. Setio, F. Ciompi, M. Ghafoorian, J. A. W. M. van der Laak, “A survey on deep learning in medical image analysis”, Medical Image Analysis, 42, 2017, pp. 60–88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
- [33] A. Alam, S. Anwar, “Detecting Acute Lymphoblastic Leukemia Through Microscopic Blood Images Using CNN”, Trends in Wireless Communication and Information Security, 2021, pp. 207–214. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6393-9_22
- [34] S. H. Wady, “Classification of Acute Lymphoblastic Leukemia through the Fusion of Local Descriptors”, UHD Journal of Science and Technology, 6 (1), 2022, pp. 21–33. doi: <https://doi.org/10.21928/uhdjst.v6n1y2022.pp21-33>
- [35] S. Alagu, K. B. Bagan, “Acute Lymphoblastic Leukemia diagnosis in microscopic blood smear images using Texture features and SVM classifier”, Alliance International Conference on Artificial Intelligence and Machine Learning (AICAAM), 2019, pp. 175–186. Available at: https://www.researchgate.net/publication/343444613_Acute_Lymphoblastic_leukemia_diagnosis_in_microscopic_blood_smear_images_using_texture_features_and_SVM_classifier
- [36] A. Curtidor, E. Kussul, T. Baydyk, M. Mammadova, “Analysis and automated classification of images of blood cells to diagnose acute lymphoblastic leukemia”, EUREKA: Physics and Engineering, N5, 2023, pp. 177–190. doi: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.003070>
- [37] A. Curtidor, T. Baydyk, E. Kussul, “Classification Based on Neural Networks to Detect Acute Lymphoblastic Leukemia”, WSEAS Transactions on Signal Processing, Vol. 21, 2025, pp. 25–30. DOI.10.37394/232014.2025.21.4
- [38] Bennett, J. M., Catovsky, D., Daniel, M.-T., Flandrin, G., Galton, D. A. G., Gralnick, H. R., Sultan, C. (1976). Proposals for the Classification of the Acute Leukaemias French-American-British (FAB) Co-operative Group. British Journal of Haematology, 33 (4), 451–458. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.1976.tb03563.x>
- [39] Baidyk, T., Kussul, E., Makeyev, O. (2005). Texture Recognition with Random Subspace Neural Classifier. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, 4 (4), 319–324.
- [40] Baidyk, T., Kussul, E., Makeyev, O. (2008). General purpose image recognition systems based on neural classifiers. Progress in Neurocomputing Research. Chap. 3. NOVA Publishers, 83–114.
- [41] Gayathri, S., Jyothi, R. L. (2018). An Automated Leucocyte Classification for Leukemia Detection. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5 (5), 4254–4264. Available at: <https://www.irjet.net/archives/V5/i5/IRJET-V5I5908.pdf>

Beyin Şişlərinin Tibbi Təsvirlər Əsasında Vision Transformer Modelləri ilə Diaqnostikası

Məsumə Məmmədova¹, Fərqanə Abdullayeva²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²a_farqana@mail.ru

Xülasə — Müasir dövrdə insanların ölümünə ən çox səbəb olan xəstəliklərdən biri beyin şişidir. Bu xəstəliyin erkən mərhələdə və dəqiq aşkarlanması dünya əhalisinin böyük bir hissəsinin həyatını xilas edə bilər. Pasiyentlərdə beyin şişlərinin dəqiq diaqnostikası və klassifikasiyası effektiv müalicə üsulunun təyin olunmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqalədə maqnit rezonans tomoqrafiya təsvirlərindən istifadə etməklə pasiyentlərdə beyin şişlərinin yüksək dəqiqliklə aşkarlanmasını və kateqoriyalasdırılmasını təmin edən vision transformer və çoxbloklı konvalyusiya neyron şəbəkələrinə əsaslanan modellər işlənmişdir. Təklif olunan üsullar elmi tədqiqatlar üçün açıq olan tibbi təsvir bazalarında sınaqdan keçirilmiş və müxtəlif metrikalar əsasında qiymətləndirilmişdir. Bu modellərin tətbiqinin əsas üstünlüyü təsvirlərdə əlamətlərin çıxarılması proseslərinin ənənəvi seqmentləşdirmə üsulları ilə deyil, diqqət və filtrasiya mexanizmləri vasitəsilə həyata keçirilməsindən ibarətdir.

Açar sözlər— beyin şişi; vision transformer; maqnit rezonans tomoqrafiya; diqqət mexanizmi; konvalyusiya neyron şəbəkələri

I. GİRİŞ

Beyin insan orqanizminin ən vacib orqanıdır və əzələ hərəkətləri, nəfəsalma, həzm prosesi və hissiyyat orqanlarının fəaliyyətinə nəzarət edir. Beyin şişləri dünya üzrə ən geniş yayılmış xəstəliklər sırasındadır [1]. Beyin şişi — beyində sürətlə bölünən və nəzarətsiz yayılan hüceyrələrin yaratdığı anormal hüceyrə toplusudur. Şişin mövcudluğu aşağıdakı simptomlarla özünü göstərə bilər: tutmalar, baş ağrısı, qusma, danışq və hərəkət çətinliyi, görmə pozuntuları, psixi pozğunluqlar və digər nevroloji əlamətlər. Statistikaya görə, beyin şişləri mərkəzi sinir sisteminin zədələnmələrinin 85–90%-ni təşkil edir. Amerika Xərçəng Cəmiyyəti (American Cancer Society) 2025-ci ildə 24,820 nəfərdə bədxassəli beyin və ya onurğa beyni şişi qeydə alınacağını proqnozlaşdırmışdır. Bu göstəricilərdən 14,040 nəfəri kişi, 10,780 nəfəri isə qadın olacaqdır. Əgər xoşxassəli (xərçəng olmayan) şişlər də nəzərə alınsa, bu rəqəmlər daha yüksək olardı. Həmin təşkilatın məlumatına əsasən, 2025-ci ildə təxminən 18,330 nəfərin (10,170 kişi və 8,160 qadın) beyin və ya onurğa beyni şişləri səbəbilə həyatını itirəcəyi gözlənilir [2].

Beyin xərçəngi kəllədəki hüceyrələr nəzarətsiz şəkildə böyüyərək çoxaldıqda baş verir. Beyin toxumasında anormal böyüyən hüceyrələr kütlə və ya şiş əmələ gətirir və sərt quruluş olan kəllə sümüyünə təzyiq göstərməyə başlayır. Bu vəziyyət öz növbəsində kəllədaxili təzyiqin artmasına səbəb ola bilər ki, bu da müxtəlif nevroloji və epileptik pozuntular üçün şərait

yaradır [3]. Beyin şişi qeyri-adi bir xəstəlik olsa da, dünya əhalisi yaşlandıqca beyin şişlərinin sayının artacağı təxmin edilir. Erkən diaqnozla bu xəstəliyin qarşısını almaq mümkündür. Beyin şişlərinin sürətlə yayılması onların erkən mərhələdə aşkarlanması üçün yüksək effektivliyə malik diaqnostik üsulların inkişaf etdirilməsini zəruri edir.

Effektivlik göstəricisi təklif olunmuş maşın və dərin təlim model və alqoritmlərdən istifadə etməklə əldə edilən nəticənin keyfiyyətini ifadə edir. Bu göstərici qoyulmuş məsələnin xarakterindən, modelin arxitekturasından, verilənlər bazasının həcmi və mürəkkəbliyindən və digər amillərdən asılıdır. Effektivlik müxtəlif dəqiqlik və məhsuldarlıq metrikaları əsasında qiymətləndirilir. Praktika daha çox istifadə olunan səmərəlilik metrikalarına Accuracy, Precision, Recall və F1-score daxildir [4].

Beyin şişi xəstəliyi istənilən yaşda olan insanda aşkarlanma və hər pasiyentdə fərqli simptomlarla müşayiət oluna bilər. Hətta müalicə prosesinin gedişatı belə fərqli nəticələri göstərə bilər. Bu səbəbdən müalicə seansları geniş müxtəlifliklə müşahidə olunur.

Maqnit rezonans tomoqrafiyası (Magnetic Resonance Imaging, MRI) hüceyrə forması, maddələr mübadiləsi, fiziologiya və funksiyalarda qeyri-invaziv dəyişiklikləri izləməyə imkan verən ən effektiv və sürətli diaqnostik üsullardan biridir [5, 6]. MRI vasitəsilə əldə edilən məlumatlar xərçəngin diaqnostikası və müalicəsinin planlaşdırılması üçün həyati vacib əhəmiyyət daşıyır. Beyin şişlərinin MRI vasitəsilə aşkarlanması və təsnifatlandırılması mürəkkəb proses hesab olunur. Bu proses zamanı əldə edilən təsvirlər əsasında innovativ üsullar tətbiq edilməklə beyində aşkarlanmış müxtəlif şiş növlərinin dəqiq tanınması, identifikasiyası və klassifikasiyası mümkündür [7]. Qeyd etmək lazımdır ki, tibbi texnologiyaların inkişafına baxmayaraq, beyin şişlərinin effektiv aşkarlanması və təsnifatı hazırda çətin və açıq məsələ olaraq qalır.

Bu problemlərin həlli üçün tədqiqatçılar və mütəxəssislər adətən təsvirlərin analizi və maşın təliminə əsaslanan qabaqcıl texnologiyalardan istifadə edirlər. Mövcud yanaşmalarda beyin şişlərinin müəyyən edilməsi üçün təsvirlər öncə seqmentləşdirilir [8]. Seqmentləşdirmə əsasən lokal, xüsusilə də şiş olan sahələrə fokuslanır. Bu prosesin aparılması zamanı isə vacib informasiyanın gözdən qaçma ehtimalı mövcuddur. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün təsvirin müxtəlif sahələri arasındakı əlaqələr də nəzərə alınmalıdır. Məqalədə tibbi təsvirlərdə şişlərin dəqiq diaqnostikasını həyata keçirmək üçün

diqqət (attention) və filtrasiya mexanizmlərinə əsaslanan görmə transformeri (vision transformer, ViT), Çoxbloklı konvolyusiya neyron şəbəkəsi (convolutional neural network, CNN) modelləri işlənmiş və K sayda ən yaxın qonşular alqoritmı (k -nearest-neighbors, KNN) tətbiq edilmişdir.

II. ƏLAQƏLİ İŞLƏR

Beyin şişinin effektiv diaqnostikası, şişin aşkarlanması, onun beyin daxilində yerinin müəyyənəşdirilməsi və növünə görə təsnifatlaşdırılması məsələlərini əhatə edir. Beyin şişlərinin diaqnostikası üçün MRI-dən istifadə olunur.

Şişlərin aşkarlanması üçün CNN əsaslı modellər işlənmişdir. Bundan əlavə beyinin segmentləşdirilməsi və şişin yerinin müəyyənəşdirilməsi istiqamətində bir sıra yanaşmalar təklif olunmuşdur. [8]-də beyin şişlərinin MRI təsvirləri əsasında aşkarlanması üçün DeepNeuroXpert adlı yanaşma təklif edilmişdir. Bu yanaşmanın əsasını beyin şişlərini tanıya və kateqoriyalara ayıra bilən effektiv, sabit və sürətli bir sistem yaratmaq təşkil edir. Burada iç-içə özünüdiqqət segmentasiya şəbəkəsi (Nested Self-Attentive Segmentation Network, NSAS-Net) üsulu tətbiq olunaraq MRI təsvirlərində şiş sahələrinin segmentləşdirilməsi aparılmışdır. Daha sonra diqqət əlavə edilmiş anlayış kapsulu (attention-integrated inception capsule, AI2CF) alqoritmı əsasında şişlərin klassifikasiyası həyata keçirilmişdir. Burada kapsul şəbəkəsinin (capsule networks) parametrlərinin optimal seçilməsi üçün Wombat-Pelikan Sinergiya Optimallaşdırması (Wombat-Pelican Synergy Optimization, WPSO) üsulundan istifadə edilmişdir. [9]-də Transfer learning alqoritmı əsasında beyin şişlərinin erkən aşkarlanması üçün yanaşma təklif olunmuşdur. [5]-də kompüter görməsi sahəsində məşhur olan AlexNet və ResNet-50 alqoritmlərinin beyin şişlərinin klassifikasiyası məsələsində müqayisəli analizi aparılmışdır.

Yuxarıdakı metodlarda beyin şişlərinin aşkarlanması üçün təsvirlər segmentləşdirilir. Beyin şişlərinin MRI təsvirlərində dəqiq segmentləşdirilməsi beyin anatomiyasının mürəkkəb təbiəti və şişlərin forma və ölçülərindəki dəyişənlik səbəbindən çətin məsələ hesab olunur. Yanlış segmentləşmə, şişin səhv təsnifatlaşdırılmasına və ya yerinin müəyyənəşdirilməsinə səbəb ola bilər.

Mövcud yanaşmaların problemlərini aradan qaldırmaq üçün təqdim olunan işdə beyin şişlərinin erkən mərhələdə aşkarlanması üçün effektiv üsullar işlənmişdir.

III. ÇOXBLOKLİ CNN MODELİ

CNN dərin təlim üsuludur, giriş təsvirlərini qəbul edir, müxtəlif obyektlərə çəkilər təyin edir, onları bir-birindən fərqləndirməyə imkan verir.

Çoxbloklı CNN modelinin filtrləri {64, 128, 256, 512, 4608} olan 21 konvolyusiya layı, 5 *MaxPooling* layı təşkil edir. Tədqiqatda ölçüsü (100, 100) olan tibbi təsvirlər təklif edilmiş modelin girişinə ötürülür. Modelin əvvəlki iki tam əlaqəli layını 4608 qovşaq (neyron) təşkil edir. Sonuncu tam əlaqəli layda neyronların sayı siniflərin sayına uyğun götürülmüşdür. Bütün laylarda qeyri-xəttiliyi əldə etmək üçün modelin aktivləşmə funksiyası *Relu* təyin edilmişdir. Klassifikasiyanın həyata

keçirilməsi üçün sonuncu tam əlaqəli layda softmax reqressiya funksiyası istifadə edilmişdir.

IV. KNN MODELİ

Beyin şişlərinin aşkarlanması üçün tətbiq olunan digər üsul KNN alqoritmidir. KNN həm klassifikasiya, həm də reqressiya məsələlərində istifadə olunan supervizorlu maşın təlimi alqoritmidir [10]. KNN hər bir etiketsiz nöqtə ilə verilənlər bazasındakı bütün nöqtələr arasındakı məsafəni hesablayaraq etiketsiz verilənləri klassifikasiya edir. Daha sonra verilənlər bazasında nümunələri tapmaqla hər bir etiketlenməmiş nöqtəni eyni şəkildə etiketlenmiş verilənlərin sinfinə təyin olunur. KNN alqoritmində nöqtələr arasındakı məsafənin tapılması üçün Evklid məsafəsindən istifadə edilir [11]. Hər bir test nümunəsi x ilə təlim nöqtələri X arasındakı məsafə aşağıdakı düstur vasitəsi ilə hesablanır.

$$d(x, X) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}$$

burada, $x_i = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ və $X_i = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$.

Bu alqoritmə klassifikasiya k sayda ən yaxın qonşular (ən kiçik məsafə) əsasında aparılır. Burada k – səsvermə çoxluğu prosesinə cəlb edilmiş yaxın qonşuların sayıdır.

Test nümunəsinə təyin edilmiş sinif etiketi k ən yaxın qonşularının səs çoxluğu əsasında (k -də maksimum üzvləri olan sinif) aşağıdakı düstur vasitəsi ilə təsnif olunur.

$$C(x_i) = \arg \max_k \sum_{X_j \in KNN} C(X_j, Y_k).$$

burada x_i test nümunəsi, X_j - test nümunəsinin təlim verilənlər bazasındakı k sayda ən yaxın qonşularından biridir. $C(X_j, Y_k)$ X_j nümunəsinin Y_k sinfinə daxil olma dərəcəsini göstərir.

V. VISION TRANSFORMER ƏSASLI MODEL

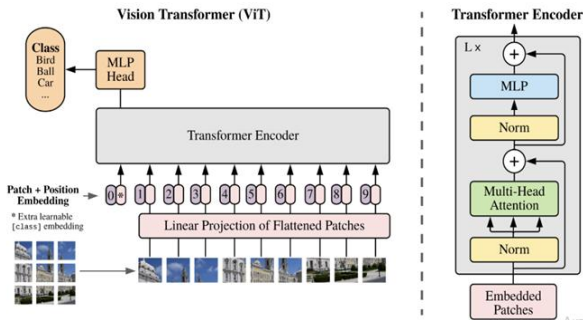
ViT neyron şəbəkənin növlərindən biridir, təsvirlərin klassifikasiyası üçün istifadə edilir [12]. ViT təbii dilin emalı üçün layihələndirilmiş arxitekturdan (məsələn, BERT) istifadə edir. Bu arxitekturanın əsas komponentini özünüdiqqət (self-attention) təşkil edir.

Arxitektura bu funksiyanın olması giriş verilənlərinin mövqeyindən asılı olmayaraq onların təsvirdə bölünmüş ayrı-ayrı hissələri arasında əlaqələri müəyyən etməyə imkan verir.

Təsviri bütövlükdə emal etmək və ya CNN-də olduğu kimi konvolyusiya filtrlərindən istifadə etmək əvəzində ViT təsviri kiçik kvadrat hissələrə (16*16 piksel) bölür, hər bir hissəni vektora daxil edir, bu vektorlar ardıcılığını (təsvirin hissələrini) transformerə ötürür. Burada vektor sözlərdən ibarət cümləyə bənzəyir.

Ənənəvi CNN-dən fərqli olaraq ViT əlamətləri çıxarmaq üçün konvolyusiya layından istifadə etmir. Bu model yalnız diqqət mexanizminə (attention mechanism) əsaslanır. ViT modeli tətbiq edildikdə təsvirin seqmentləşdirilməsinə ehtiyac olmur. Model özünün self-attention mexanizmindən istifadə etməklə təsvirin vacib sahələrini öyrənir. ViT modeli çoxsaylı transformer bloklarından ibarətdir. Transformer blokları paketin ölçüsü, hissələrin sayı, proyeksiyanın ölçüsü adlı elementlərdən ibarət tenzor yaradır. Bu tenzor ViT modelinin sonuncu softmax classifier blokuna ötürülməklə çıxışda hər bir sinfin ehtimal qiymətlərinin hesablanmasını təmin edir.

Vision transformer tipli dərin təlim modelinin arxitekturası Şəkil 1-də verilmişdir [12].



Şəkil 1. ViT tipli dərin təlim modeli.

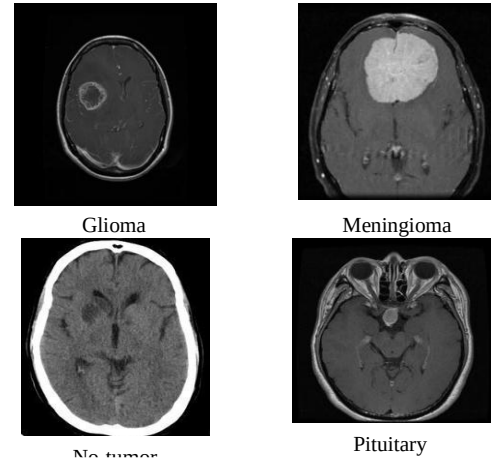
Şəkildən göründüyü kimi ilk öncə təsvir sabit ölçülü parçalara bölünür, hər bir təsvir parçası xətti şəkildə yerləşdirilir, yaranmış vektor ardıcılığı transformer kodlayıcısının girişinə ötürülür. Klassifikasiyanı həyata keçirmək üçün ənənəvi çoxlaylı perseptron tətbiq edilir. Qoyulmuş məsələdən asılı olaraq bu klassifikatorun əvəzində başqa üsul da istifadə edilər bilər. Baxılan halda beyin şişlərinin klassifikasiyası zamanı softmax klassifikatoru istifadə edilmişdir.

VI. EKSPERİMENTLƏR

Eksperimentlərin aparılması üçün beyin şişlərinin müəyyən edilməsində Brain Tumor MRI verilənlər bazası istifadə edilmişdir [13, 14].

Brain Tumor verilənlər bazası 7023 sayda təsvirdən ibarətdir və dörd sinif təşkil edir: glioma, meningioma, no tumor, pituitary. Bu siniflərdən olan nümunələr Şəkil 2-də göstərilmişdir.

Cədvəldən göründüyü kimi Çoxbloklı CNN modeli az itkiyə yol verərək verilənlər bazasının siniflər üzrə nümunələrini dəqiq tanıya bilmişdir. Belə ki, Glioma, Meningioma, Notumor, Pituitary sinifləri üzrə accuracy göstəricisi üzrə uyğun olaraq 0.8067, 0.7320, 0.9506, 0.8100 qiymətləri alınmışdır.



Şəkil 2. Brain Tumor bazasından nümunələr.

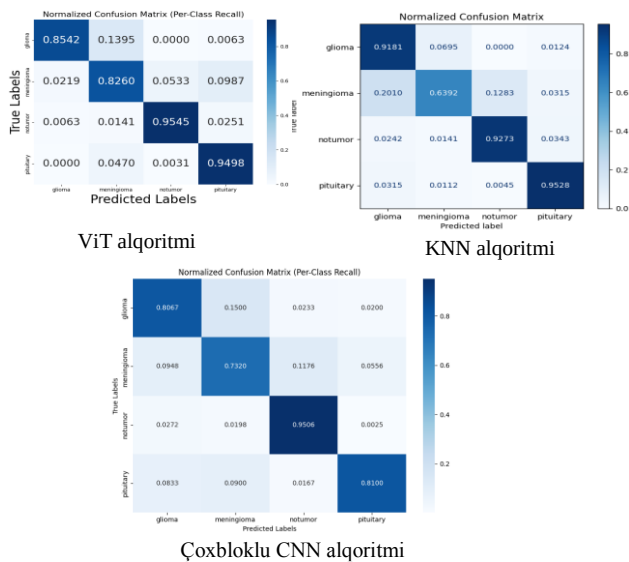
KNN, Çoxbloklı CNN və ViT modellərinin Brain Tumor Dataset üzərində aparılmış eksperimentlərin nəticələri Cədvəl 1-də verilmişdir.

CƏDVƏL 1. KNN, ÇOXBLOKLı CNN VƏ ViT MODELƏRİNİN BRAIN TUMOR VERİLƏNLƏR BAZASI ÜZƏRİNDƏ KLASSİFİKASIYA NƏTİCƏLƏRİ

Metod	Sinif	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
ViT	Glioma	0.9680	0.8542	0.9076	0.8542
	Meningioma	0.8260	0.8260	0.8152	0.8260
	Notumor	0.9442	0.9545	0.9493	0.9545
	Pituitary	0.8795	0.9498	0.9133	0.9498
Çoxbloklı CNN	Glioma	0.7883	0.8067	0.7974	0.8067
	Meningioma	0.7368	0.7320	0.7344	0.7320
	Notumor	0.8891	0.9506	0.9189	0.9506
	Pituitary	0.9101	0.8100	0.8571	0.8100
KNN	Glioma	0.7724	0.9181	0.8390	0.9181
	Meningioma	0.8684	0.6392	0.7364	0.6392
	Notumor	0.8930	0.9273	0.9098	0.9273
	Pituitary	0.9237	0.9528	0.9381	0.9528

CNN algoritmi verilənlərin klassifikasiyasını təsvirin pikselləri əsasında həyata keçirir. Hər bir şəkil piksellərdən ibarət 32×32 ölçülü matrisə transformasiya edilmişdir. Daha sonra 32×32 ölçülü RGB formatlı təsvir 3072 ölçülü vektora transformasiya edilmişdir ($32 \times 32 \times 3 = 3072$). Bu vektor verilənlərin klassifikasiyası prosesində əlamətlər kimi istifadə edilmişdir. Tibbi təsvirlərin sinifləri tam ədədlərlə göstərilmişdir. Verilənlər bazasında təsvirlərin 75 faizi təlim, 25 faizi test üçün istifadə edilmişdir. CNN klassifikatoru üçün qonşu qovşaqların sayı 7 götürülmüşdür. KNN təsvirdəki şişləri klassifikasiya etmək üçün piksel intensivliyi oxşarlığından istifadə edir. Çoxbloklı CNN modelində itki *categorical crossentropy* funksiyası, parametrlərinin optimallaşdırılması isə RMSprop vasitəsi ilə qiymətləndirilir.

Tədqiqatda ImageNet verilənlər bazası üzərində əvvəlcədən öyrədilmiş *google/vit-base-patch16-224-in21k* adlı ViT modeli beyin şişlərinin identifikasiyası məsələsinə tətbiq edilmişdir. Şişlərin aşkarlanmasını və klassifikasiyasını həyata keçirən metodlarının Brain Tumor verilənlər bazası üzərində 30 iterasiyada alınmış xətlər matrisi Şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Metodların Brain Tumor bazası üzərində xətlər matrisi

Şəkil 3-dən göründüyü kimi 30 iterasiyada ViT algoritmi Çoxbloklı CNN algoritmi ilə müqayisədə glioma sinfindən olan nümunələri 0.8542 dəqiqliyi ilə tanıya bilmişdir. Çoxbloklı CNN bu sinif nümunələrin tanınmasında 0,1933 xəyata yol verdiyi halda, ViT modelinin xəta qiyməti 0,1458 olmuşdur. KNN 2-ci sinifdən olan meningioma nümunələrini 0.6392, Çoxbloklı CNN isə 0.7320 dəqiqliyi ilə tanımışdır. ViT isə bu sinifdən olan nümunələri 0.8260 dəqiqliyi ilə tanımışdır.

Şəkildən göründüyü kimi ViT verilənlər bazasının bütün siniflərindən olan nümunələri yüksək dəqiqliklə tanıyaraq, xətlər matrisinin elementlərini diaqonal üzrə yığa bilmişdir. Bu nəticələr ViT modelinin daha üstün olduğunu sübut edir.

V. NƏTİCƏ

Beyin şişləri dünya üzrə ən geniş yayılmış xəstəliklər sırasında. Tibbi avadanlıqların və süni intellekt texnologiyalarının inkişafı müxtəlif xəstəliklərin, o cümlədən beyin şişlərinin erkən mərhələdə yüksək dəqiqliklə identifikasiyası üçün yeni imkanlar açmışdır. Məqalədə maqnit rezonans tomoqrafiya vasitəsilə əldə edilmiş histoloji təsvirlər bazasından beyin şişlərinin tibbi əlamətlərin çıxarılması üçün ViT və dərin təlim metodları sinfinə aid olan Çoxbloklı konvolyusiya neyron şəbəkələri əsasında yeni modellər işlənmişdir. Bu modellərin əsasını təşkil edən diqqət və filtrasiya mexanizmləri ənənəvi segmentləşdirmə üsullarının bəzi çatışmazlıqlarını aradan qaldırmaqla şişlərin daha dəqiq klassifikasiyanı təmin edir. Açıq tibbi təsvir bazası üzərində aparılmış eksperimentlərin nəticələrinin müxtəlif metrikalar əsasında qiymətləndirilməsi təklif olunmuş modellərin effektivliyini təsdiq edir.

MINNƏTDARLIQ

Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № AEF-MCG-2023- 1(43)-13/04/1-M-04.

ƏDƏBİYYAT

- [1] C. Hardwidge, S. Hettige, “Tumours of the central nervous system,” Surgery, vol. 30, pp. 155–161, 2012.
- [2] Key statistics for brain and spinal cord tumors. American Cancer Society. <https://www.cancer.org/cancer/types/brain-spinal-cord-tumors-adults/about/key-statistics.html>
- [3] M. Babayomi, O.A. Olagbaju, A.A. Kadiri, “Convolutional XGBoost (C-XGBOOST) Model for Brain Tumor Detection,” 2023, pp. 1-14, arXiv:2301.02317v1
- [4] An Q, Rahman S, Zhou J, Kang JJ. A comprehensive review on machine learning in healthcare industry: classification, restrictions, opportunities and challenges. Sensors. 2023;23(9):4178. doi: 10.3390/s23094178
- [5] V.K. Dhakshnamurthy, M. Govindan, K. Sreerangan, M.D. Nagarajan, A. Thomas, “Brain tumor detection and classification using transfer learning models,” Engineering Proceedings, vol. 62, pp. 1–10, 2024.
- [6] I.S. Rajput, A. Gupta, V. Jain, S. Tyagi, “A transfer learning-based brain tumor classification using magnetic resonance images,” Multimedia Tools Applications, vol. 83, pp. 20487–20506, 2024.
- [7] S.E. Nassar, I. Yasser, H.M. Amer, M.A. Mohamed, “A robust MRI-based brain tumor classification via a hybrid deep learning technique,” The Journal of Supercomputing, vol. 80, pp. 2403–2427, 2024.
- [8] A.K. Dutta, Y. Bokhari, F. Alghayadh, et al., “A synaptic deep tumor sense predictor system for brain tumor detection and classification,” Alexandria Engineering Journal, vol. 123, pp. 29–45, 2025.
- [9] M. Agarwal, G. Rani, A. Kumar, et al. “Deep learning for enhanced brain Tumor Detection and classification,” Results Engineering, vol. 22, pp. 1-12, 2024.
- [10] G. Guo, H. Wang, D. Bell, Y. Bi, K. Greer, “KNN model-based approach in classification,” OTM Confederated International Conferences on the Move to Meaningful Internet Systems, Lecture Notes in Computer Science, vol 2888, pp. 986-996, Springer, Berlin, Heidelberg, 2003.
- [11] A. Almomany, W.R. Ayyad, A. Jarrah, “Optimized implementation of an improved KNN classification algorithm using Intel FPGA platform: Covid-19 case study,” Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, vol. 34, no. 6, pp. 3815-3827, 2022.
- [12] A. Dosovitskiy, L. Beyer et al., “An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale,” arXiv:2010.11929v2 [cs.CV] 3 Jun 2021, pp. 1-22, 2021.
- [13] Brain Tumor MRI Dataset, <https://www.kaggle.com/datasets/masoudnickparvar/brain-tumor-mri-dataset>
- [14] A. Janowczyk, A. Madabhushi, “Deep learning for digital pathology image analysis: A comprehensive tutorial with selected use cases,” Journal of Pathology Informatics, vol. 7, no. 1, pp. 1-18, 2016. <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/breast-histopathology-images>.

Research of the Increasing Dynamics of Neurologically Based Mental Disorders with Neural Networks

Nuran Abdullayev¹, Sahib Piriye², Javid Abbasli³

¹Academic Hospital of the Friedrich-Wilhelms-University Bonn, Troisdorf, Germany

^{2,3}Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

³Institute of Biomedical Engineering, Azerbaijan Technical University, Bakı, Azərbaycan

¹nuran.abdullayev@gfo-kliniken-troisdorf.de, ²sahib.piriye@aztu.edu.az, ³cavid.abbasli@aztu.edu.az

Xülasə— Baxılan tədqiqat işində nevroloji əsaslı psixi pozulmaların - depressiya, təşviş pozuntusu və stressin artan dinamikası stoxastik diferensial tənliklər sistemi vasitəsilə modelləşdirilmişdir. Təklif edilmiş model psixi simptomların şiddətini və bu simptomlara təsir edən əsas bioloji göstəriciləri – dopamin, kortizol və GABA – gamma-aminobütirik turşusu kimi neyrotransmitterlərinin səviyyələrini nəzərə alır. Elmi-tədqiqat işində baxılan tənliklər sistemindəki axtarılan funksiyaların əmsalları – uyğun olaraq hormonal səviyyənin simptomlara təsir dərəcəsini, stoxastik təsirlərini və geribildirim mexanizmlərini xarakterizə edir. Çoxqatlı süni neyron şəbəkə vasitəsi ilə əmsalları təmsil edən parametrlər üçün aşağı xətalı qiymətlər proqnozlaşdırılmışdır və baxılan tənliklər sistemi Eyler – Maruyama üsulu ilə ədədi həlli tapılmışdır.

Açar sözlər— nevrologiya; stoxastik diferensial tənliklər sistemi; eyler-maruyama ədədi üsulu; süni intellekt; neyron şəbəkələr

I. GİRİŞ

Psixi pozuntuların yaranmasında və inkişafında nevroloji və endokrin sistemlərin qarşılıqlı təsiri mühüm rol oynayır. İnsan orqanizminin sinir - nevroloji sistemi və hormonal tənzimləmə - endokrin sistemi bir-biri ilə sıx əlaqədə fəaliyyət göstərir və bu əlaqələr pozulduqda pasiyentdə əyani müşahidə olunan psixi və emosional problemlər ortaya çıxır. Bu sahədəki ilkin tədqiqatlar əsasən insan beyninin biokimyasına fokuslanaraq dopamin, kortizol hormonlarının və gamma-aminobütirik turşusu kimi neyrotransmitterlərin davranış pozuntularındakı rollarını eksperimental və nəzəri səviyyədə qiymətləndirmişdir (Smith et al., 2006; Thayer & Lane, 2009). Həmçinin, bu və bu kimi problemlərin dinamik modellərlə riyazi təsviri aktuallaşmış və deterministik diferensial tənliklər sistemi əsasında modellər qurulmuşdur (Jirsa & Kelso, 2000). Lakin bu cür deterministik modellərdə bioloji sistemlərdəki qeyri-müəyyənlikləri – stoxastik prosesləri və variasiyaları analiz edərkən müəyyən məhdudiyyətlər yaranır. Buna görə də, stoxastik diferensial tənliklər tətbiq olunmağa başlamış və bu metodologiya sayəsində həm daxili neyrotransmitter dalğalanmaları, həm də xarici ətraf mühit faktorlarının təsiri daha dəqiq şəkildə modelləşdirilmişdir (Lánský & Sato, 1999; Higham, 2001). Eyni zamanda, son illərdə süni intellektin, xüsusilə süni neyron şəbəkələrin bu sahəyə inteqrasiyası

artmış, müxtəlif nevroloji və psixiatrik göstəricilərin təhlilində LSTM, CNN və MLP modelləri geniş tətbiq olunmuşdur (Esteve et al., 2019; Woo et al., 2017). Bu yanaşma, riyazi modellərin əmsallarının data əsaslı öyrədilməsi və fərdiləşdirilməsi imkanlarını yaratmışdır [6]. Bununla belə, stoxastik diferensial tənliklər sisteminin parametrlərinin neyron şəbəkə ilə öyrədilməsi və bu modellərin real klinik-bioloji göstəricilər əsasında proqnozlaşdırılması hələ də geniş şəkildə işlənmemiş bir tədqiqat sahəsi olaraq qalır [9]. Bu boşluğu nəzərə alaraq, təqdim olunan işdə həm stoxastik model yanaşması, həm də süni intellekt əsaslı parametr öyrənməsi birləşdirilərək kompleks modelləşdirmə aparılmışdır.

Bu elmi-tədqiqat işinin əsas məqsədi, nevroloji mənşəli psixi pozuntuların dinamikasına təsir göstərən bioloji və hormonal amillərin davranışını stoxastik riyazi modellər və süni intellekt metodları vasitəsilə araşdırmaqdır. Xüsusilə, simptom şiddətinin zamanla dəyişimini müəyyən edən faktorlar — dopamin, kortizol və GABA neyrotransmitterlərinin [8] təsiri — stoxastik diferensial tənliklər sistemi ilə modelləşdirilmiş və bu modelin əmsalları neyron şəbəkə vasitəsilə proqnozlaşdırılmışdır. Tədqiqatın obyektı, insan sinir sistemində psixi pozuntu simptomlarının yaranma və inkişaf prosesində iştirak edən nevroendokrin parametrlər və onların qarşılıqlı əlaqələri olmuşdur.

Tədqiqat işinin II bölməsində psixi pozuntuların dinamikası riyazi modelləşdirilmişdir. Baxılan stoxastik diferensial tənliklər sistemindəki parametrlər və funksiyalar üçün müəyyən məhdudiyyət və sərhəd şərtləri təyin olunmuşdur. III bölmədə tənliklər sistemindəki parametrlərin alacağı qiymətlər praktikadan əldə olunmuş verilənlər əsasında qurulmuş neyron şəbəkə vasitəsi ilə proqnozlaşdırılmışdır. İşin IV bölməsində stoxastik diferensial tənliklər sistemi Eyler – Maruyama üsulu ilə ədədi həll olunmuşdur. V bölmədə tədqiqat işindən alınan nəticələr və bu nəticələrin biotibbi mühəndislik sənayesində istifadəsi, o cümlədən, tədqiqat işinin gələcəkdəki istiqamətləri müəyyən olunmuşdur. VI bölmədə tədqiqat işinin yazılması və eksperimentlərin aparılması zamanı istifadə olunmuş mənbələr, istinadlar qeyd olunmuşdur.

II. PSIXI POZUNTULARIN DİNAMİKASININ RİYAZI MODELƏŞDİRİLMƏSİ

Tədqiqat işinin aparılması zamanı qeyd olunmuş hormonal dəyərlər birbaşa olaraq nevroloji əsaslı psixi pozuntuların yaranmasına səbəb olan əsas faktorları özündə ehtiva edir. Belə ki, dopamine hormonu ($C_6H_3(OH)_2-CH_2-CH_2-NH_2$ – kimyəvi formul), motivasiya, həzz, hərəkəi koordinasiyası və mükafat sistemlərində vacib rol oynadığı üçün bu hormonal balansın pozulması depressiya, şizofreniya və parkinson kimi xəstəliklərdə geniş müşahidə olunur [4]. Həmçinin, stress hormonu kimi tanınan kortizolun ($C_{21}H_{30}O_5$ – kimyəvi formul), adətən pasientin stress vəziyyətində disbalansiyası izlənilir. Uzunmüddətli yüksək kortizol səviyyəsi depresiya, təşviş pozuntusu, yuxu və yaddaş pozulmalarına səbəb olur. Beyində əsas inhibitor rolunu oynayan və sinir hüceyrələrinin həddən artıq aktivləşməsinin qarşısını alan gamma-aminobütirik turşusunun – (abbr: GABA) səviyyəsinin azalması epilepsiya, yuxu pozuntuları və digər ciddi nevroloji problemlərlə əlaqəlidir. Riyazi modelin qurulması zamanı, əhval pozğunluqlarının və psixoz vəziyyətlərinin molekulyar hədəfləri kimi tanınan – dopamin, stresslə əlaqəli pozuntularda əsas rol oynayan və psixi pozuntuların böyük əksəriyyətində ölçülə bilən biomarker kimi təyin olunan – kortizol hormonal dəyərlərindən istifadə olunmuşdur və gamma-aminobütirik turşusu neyrotransmitter kimi seçilmişdir.

Təklif olunmuş model psixi simptomların dinamikasının nevroloji və endokrin amillərə əsaslanan sistem şəklində riyazi təsviridir [12] [14]. Model (1) stoxastik diferensial tənlikləri sistemi şəklində qurulmuşdur.

$$\begin{cases} dI(t) = [-\alpha I(t) + \beta_1 D(t) + \beta_2 K(t) - \beta_3 N(t)]dt + \sigma_1 I(t)dW_1(t) \\ dD(t) = [-\lambda_1 D(t) + \rho_1 I(t)]dt + \sigma_2 D(t)dW_2(t) \\ dK(t) = [-\lambda_2 K(t) + \rho_2 I(t)]dt + \sigma_3 K(t)dW_3(t) \\ dN(t) = [-\lambda_3 N(t) - \rho_3 I(t)]dt + \sigma_4 N(t)dW_4(t) \end{cases}$$

(1) düstur yuxarıda qeyd olunmuşdur.

Belə ki, burada [13];

$I(t)$ – psixi simptomların intensivliyini, $D(t)$ – dopamin konsentrasiyasını, $K(t)$ – kortizol konsentrasiyasını, $N(t)$ – GABA neyrotransmitterinin konsentrasiyasını təyin edən kəsilməz funksiyalardır [1].

Məlumdur ki [4],

$$\begin{aligned} I(t) &\in [0, I_{\max}], t \geq 0 \\ D(t) &\in [0, 100], t \geq 0, (pg / mL) \\ K(t) &\in [0, 40], t \geq 0, (\mu g / dL) \\ N(t) &\in [0, 5], t \geq 0, (mmol / L) \end{aligned} \quad (2)$$

(1) sisteminin stoxastik hissəsindəki $W_i(t)$, $i = \overline{1, 4}$ kəsilməz funksiyası Viner (eng: Norbert Wiener) prosesini təmsil edir. Bu proses, qeyri-müəyyənlik və təsadüfilik daşıyan sistemləri modelləşdirmək üçün istifadə olunan əsas stoxastik yanaşmanı özündə ehtiva edir. Onun istifadəsi ilə deterministik və təsadüfi komponentləri birləşdirən stoxastik tənliklər

qurmaq və bu sistemlərin zamanla necə dəyişdiyini təhlil etmək mümkündür.

Başlangıç qiyməti $W_i(0) = 0$ funksiyası, hər bir kafi qədər kiçik və stoxastik τ addımı üçün (3) kimi təyin olunur, yəni artımlar normal paylanmaya malikdir:

$$W(t_0 + \tau) - W(t_0) \sim N(0, \tau) \quad (3)$$

Həmçinin, baxılan (1) – stoxastik diferensial tənliklər sistemindəki parametrlər aşağıdakı kimi xarakterizə olunur [15]:

α – simptomların təbii azalmasını xarakterizə edən müsbət sabit parametrdir. Bu, simptomların öz-özünə zamanla azalmasını əks etdirir.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – müvafiq olaraq Dopamin, Kortizol və GABA hormonlarının simptomlara təsir dərəcəsini ifadə edən əmsallardır.

Burada, $\beta_1 > 0, \beta_2 > 0, \beta_3 > 0$ olmalıdır. Qeyd edək ki, Dopamin və Kortizol simptomları gücləndirici, GABA isə simptomları azaldıcı təsir göstərir [11].

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – müvafiq hormonların parçalanma (azalma) sürətini təyin edən müsbət sabitlərdir.

ρ_1, ρ_2, ρ_3 – simptomların hormonlara geri təsir gücünü ifadə edən parametrlərdir.

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ – hər bir prosesin stoxastik dəyişkənliyini (qeyri-müəyyənliyi) xarakterizə edən müsbət sabitlərdir.

Qurulmuş modeldə psixi simptomların və hormon səviyyələrinin zamanla necə dəyişdiyini, hormonlarının simptomlara təsir dərəcəsini, onların parçalanma (azalma) sürətini və simptomların hormonlara geri təsir gücünü ifadə edən parametrlərin dəyişməsi ilə dinamikanı müşahidə etmək mümkün olur [3].

III. PARAMETRLƏRİN NEYRON ŞƏBƏKƏ İLƏ PROQNOZLAŞDIRILMASI

Riyazi modelin daxilində yer alan parametrlərin proqnozlaşdırılması məqsədilə çoxqatlı dərin neyron şəbəkə modeli hazırlanmışdır. Burada əsas məqsəd, verilmiş çoxölçülülük verilənlər əsasında parametrləri öyrənmək və yüksək dəqiqliklə təxminlər etməkdən ibarətdir. Qeyd edək ki, modelin qurulmasında proqramlaşdırma alətləri kimi TensorFlow və Keras kitabxanaları istifadə olunmuşdur.

Modelin qurulması zamanı istifadə olunan verilənlərin ölçüləri Cədvəl 1. – də qeyd olunduğu kimi 2000×14 ölçülüdür. Baxılan cədvəldə 2000 pasient üçün 14 fərqli hormonal indikatorlar toplanmışdır. Toplanmış verilənlərin ilkin emalı zamanı MinMax normallaşdırma üsulundan istifadə olunmuşdur. Məlumdur ki, normallaşdırılmış verilənlər üzərindən qurulmuş neyron şəbəkə ilə daha “yaxşı” yaxınlaşmalar əldə edə bilərik.

CƏDVƏL 1. EKSPERIMENTDƏ İSTİFADƏ OLUNMUŞ VERİLƏNLƏR

Verilənlər	Pasient sayı	Hormonal faktor sayı
Normalaşdırılmış verilənlər	2000	14

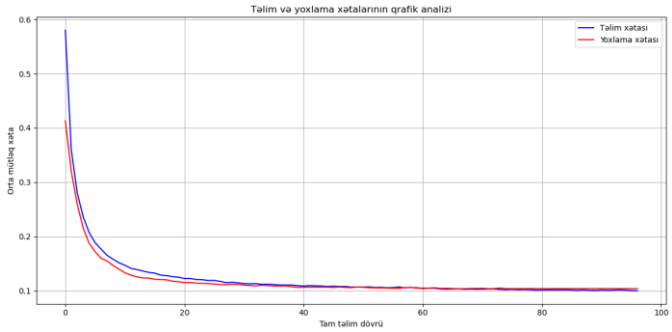
Model *Sequential API* interfeysi ilə qurulmuşdur və onun Cədvəl 2.-dəki arxitekturasına nəzər salsaq, modelin 14 xüsusiyyətdən ibarət giriş vektoru qəbul edən – giriş qatından, 128 neyronlu, *LeakyReLU* aktivləşmə funksiyalı, *BatchNormalization* və *Dropout* (0.3) üsulu əlavə olunmuş gizli qatdan ibarət olduğunu görə bilərik. Həmçinin, baxılan neyron şəbəkə modeli 64 və 32 neyronlu daha əlavə iki gizli qatdan və 14 parametrin hər biri üçün xətti aktivləşmə funksiyası təyin olunmuş çıxış qatdan ibarətdir.

CƏDVƏL 2. QURULMUŞ NEYRON ŞƏBƏKƏ MODELİ HAQQINDA

Süni neyron şəbəkənin qatı	Növü	Aktivləşmə funksiyası	Süni neyron sayı
Giriş_lay1 (BatchNormalization, Dropout 0.3)	Tam əlaqəli (Dense)	LeakyReLU	128
Gizli_qat_1 (BatchNormalization)	Tam əlaqəli (Dense)	LeakyReLU	64
Gizli_qat_2	Tam əlaqəli (Dense)	LeakyReLU	32
Çıxış_lay1	Tam əlaqəli	Xətti	14

Modelin arxitekturası sayəsində, dərin öyrənmənin klassik prinsiplərinə uyğun olaraq həm məlumatı kompleks transformasiyalara məruz qoyur, həm də *overfitting* ehtimalını *BatchNormalization* və *Dropout* vasitəsilə azaldır. Modelin təlimi zamanı optimallaşdırma üçün ADAM üsulu və xətlər üçün orta mütləq xəta qiyməti seçilmişdir. Təlim prosesinə əlavə olaraq *EarlyStopping* və *ReduceLROnPlateau* kimi *callback* metodları tətbiq olunmuşdur. Qeyd edək ki, *EarlyStopping* üsulu tam təlim dövrləri arasında modelin artıq təkmilləşmə halının izlənildiyi zaman və təlimin erkən başa çatması üçün istifadə olunur. *ReduceLROnPlateau* üsulu isə yoxlama xətasının müəyyən müddət azalmadığı təqdirdə öyrənmə sürətini avtomatik azaldılması üçün istifadə olunur.

Şəkil 1.-də modelin tam təlim dövrləri üzrə təlim və yoxlama xətlərinin qrafik analizi qeyd olunmuşdur. Belə ki, model 200 tam təlim dövrü qədər öyrədilsə də, optimal təlim dövrü *EarlyStopping* üsulu ilə avtomatik müəyyən olunmuşdur.



Şəkil 1. Tam təlim dövrləri üzrə təlim və yoxlama xətlərinin qrafik analizi.

Cədvəl 3.-də α , β_1 , β_2 , β_3 , λ_1 , λ_2 , λ_3 , ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 - parametrlərinin proqnozlaşdırılmış qiymətləri və orta mütləq xətləri qeyd olunmuşdur.

CƏDVƏL 3. PROQNOZLAŞDIRILMIŞ PARAMETR QIYMƏTLƏRİ VƏ ONLARIN XƏTASI.

Əmsal	Proqnozlaşdırılmış qiymət	Orta mütləq xəta
α	0.252182	0.0232
β_i	0.3706057 0.31631857 0.41443497	0.0233 0.0121 0.0095
λ_i	0.47987333 0.13445 0.18734644	0.0086 0.0281 0.0506
ρ_i	0.50992507 0.32877272 0.43990302	0.0157 0.0045 0.0070
σ_i	0.42936182 0.5145073 0.19726609 0.22840397	0.0073 0.0113 0.0034 0.0071

IV. STOXAŞTİK DİFERENSİAL TƏNLİKLƏR SİSTEMİNİN EYLER-MARUYAMA ÜSULU İLƏ ƏDƏDİ HƏLLİ

Klassik diferensial tənliklərdən fərqli olaraq, stoxastik diferensial tənliklərdə təsadüfi dəyişkənlik Viner prosesi və ya digər təsadüfi proseslər vasitəsilə modelləşdirilir. Bu isə öz növbəsində, sistemin deterministik yox, stoxastik xarakterli inkişafına səbəb olur. Stoxastik diferensial tənliklərin analitik həlli yalnız məhdud sayda sadə modellər üçün mümkündür. Real sistemlərdə isə bu tənliklərin çoxkomponentli və kompleks quruluşu nəzərə alınmaqla, ədədi həll üsullarının tətbiqi zəruri olur [2]. Bu baxımdan Euler-Maruyama üsulu, stoxastik diferensial tənliklərin ədədi həlli üçün ən sadə və geniş istifadə olunan yanaşmalardan biri kimi qəbul edilir [5].

Bu üsul klassik Eyley metodunun stoxastik versiyası olmaqla, eyni anda deterministik və stoxastik hissəni də nəzərə alaraq zaman boyunca diskret trayektoriyalar qurmağa imkan verir [7].

Eyley-Maruyama sxemi aşağıdakı kimi (4) ümumi formada ifadə olunur:

$$M(t_0 + \tau) = M(t_0) + F[M(t_0), t_0] \cdot \tau + G[M(t_0), t_0] \cdot [W(t_0 + \tau) - W(t_0)]$$

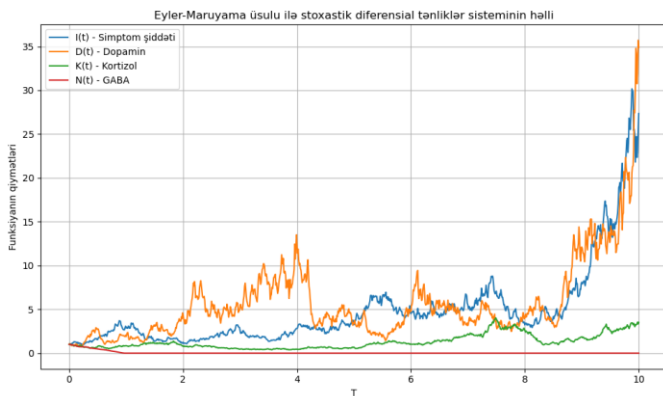
(4) düstur yuxarıda qeyd olunmuşdur.

Beləliklə, (4)-dən istifadə edərək (1) stoxastik diferensial tənliklər sistemini Euler-Maruyama üsulu ilə ədədi həll etmək üçün diskret zaman addımları - Δt götürülür və (1) sistemindəki tənliklərin (5) diskret forması aşağıdakı kimi yazılır [10]:

$$\begin{aligned} I_{n+1} &= I_n + [-\alpha I_n + \beta_1 D_n + \beta_2 K_n - \beta_3 N_n] \Delta t + \sigma_1 I_n \sqrt{\Delta t} \xi_{1n} \\ D_{n+1} &= D_n + [-\lambda_1 D_n + \rho_1 I_n] \Delta t + \sigma_2 D_n \sqrt{\Delta t} \xi_{2n} \\ K_{n+1} &= K_n + [-\lambda_2 K_n + \rho_2 I_n] \Delta t + \sigma_3 K_n \sqrt{\Delta t} \xi_{3n} \\ N_{n+1} &= N_n + [-\lambda_3 N_n - \rho_3 I_n] \Delta t + \sigma_4 N_n \sqrt{\Delta t} \xi_{4n} \end{aligned}$$

(5) düstur yuxarıda qeyd olunmuşdur.

Burada, $\xi_{in} \sim N(0,1)$ - Qauss paylanması malik təsadüfi dəyişənlərdir.



Şəkil 2. Eyley – Maruyama üsulu ilə həll edilmiş stoxastik diferensial tənliklər sisteminin həllinin qrafik analizi.

Şəkil 2.-də baxılan (1) stoxastik diferensial tənliklər sisteminin Eyley – Maruyama üsulu ilə Python proqram mühitində yazılaraq ədədi həllinin tapıldığını və funksiyaların zamanla artan dinamikasını görə bilərik. Həmçinin funksiyaların qiymətini müqayisəli analizini Cədvəl 5.-də görə bilərik.

CƏDVƏL 6. FUNKSIYALARIN QIYMƏTLƏRİNİN MÜQAYISƏLİ ANALIZI (SON 5 ADDIM ÜÇÜN)

Addım	I(t)	D(t)	K(t)	N(t)
T = 9.96	24.7312	34.1482	3.2901	0.0
T = 9.97	22.3392	30.7486	3.3172	0.0
T = 9.98	22.9282	31.9550	3.5406	0.0
T = 9.99	25.4732	35.7104	3.3317	0.0
T = 10.00	27.3478	34.8837	3.5062	0.0

V. NƏTİCƏ VƏ PERSPEKTİVLƏR

Bu tədqiqat işində stoxastik diferensial tənliklər sistemlərinin Eyley–Maruyama üsulu ilə ədədi həlli həyata keçirilmiş və bu yanaşmanın dinamik, qeyri-deterministik sistemlərin modelləşdirilməsində effektivliyi nümayiş etdirilmişdir. Əldə olunan nəticələr aşağıdakı əsas məqamları özündə ehtiva edir:

- Modelin ədədi sabitliyi və təxmini doğruluğu Eyley–Maruyama metodu ilə sadə və hesablama baxımından qənaətbəxş şəkildə əldə olunmuşdur. Bu, xüsusilə bioloji sistemlərdə (məsələn, sinir impulslarının yayılması və ya hormonların fluktuasiya modelləri) qeyri-müəyyənliyin təsirini öyrənmək üçün geniş tətbiq imkanları açır.
- Simulyasiya nəticələrinin vizuallaşdırılması, stoxastik sistemin zamanla necə dəyişdiyini aydın şəkildə göstərmişdir. Bu baxımdan tədqiqat nəticələri yalnız nəzəri deyil, həm də tətbiqi baxımdan perspektiv üçün yeni fikirlər doğrurur və gələcəkdə klinik və ya diaqnostik analizlər üçün vizual alətlərə çevrilə bilər.
- Metodun genişləndirilən quruluşu, müxtəlif parametr kombinasiyaları və çoxölçülü sistemlər üçün uyğunlaşdırılaraq nevroloji, endokrin və genetik proseslərin modelləşdirilməsinə şərait yaradır. Xüsusilə, neyrodegenerativ xəstəliklərin gedişatını təsvir edən stoxastik modellərin inkişafı bu yanaşma ilə mümkündür.

Tədqiqat işi yeni süni intellekt əsaslı biotibbi texnologiyaların proqram təminatına həm nəzəri, həm də praktiki töhfə verir. Perspektiv üçün bu cür modellərin neyron şəbəkələrlə birləşdirilərək real tibbi diaqnostik sistemlərə çevrilməsi, süni intellektin biotibbdə daha səmərəli tətbiqinə yol açır.

İSTİNADLAR

- [1] Allen, E. J. (2007). Modeling with Itô stochastic differential equations. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-833-4>
- [2] Burrage, K., Burrage, P. M., & Tian, T. (2004). Numerical methods for strong solutions of stochastic differential equations: An overview. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 460(2041), 373–402. <https://doi.org/10.1098/rspa.2003.1248>
- [3] Gardiner, C. W. (2009). Stochastic methods: A handbook for the natural and social sciences (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70713-2>
- [4] Gillespie, D. T. (2000). The chemical Langevin equation. The Journal of Chemical Physics, 113(1), 297–306. <https://doi.org/10.1063/1.481811>
- [5] Higham, D. J. (2001). An algorithmic introduction to numerical simulation of stochastic differential equations. SIAM Review, 43(3), 525–546. <https://doi.org/10.1137/S0036144500378302>
- [6] Izhikevich, E. M. (2007). Dynamical systems in neuroscience: The geometry of excitability and bursting. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262090438/>
- [7] Kloeden, P. E., & Platen, E. (1992). Numerical solution of stochastic differential equations. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-12616-5>
- [8] Lapicque, L. (1907). Recherches quantitatives sur l'excitation électrique des nerfs traitée comme une polarisation. Journal de Physiologie et de Pathologie Générale, 9, 620–635.
- [9] Lánský, P., & Sato, S. (1999). The stochastic diffusion models of nerve membrane depolarization and interspike interval generation. Journal of Perceptual and Motor Skills, 84(2), 785–802. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.84.2.785>
- [10] Platen, E., & Bruti-Liberati, N. (2010). Numerical solution of stochastic differential equations with jumps in finance. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03453-6>
- [11] Ricciardi, L. M. (1977). Diffusion processes and related topics in biology. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-66698-0>
- [12] Risken, H. (1996). The Fokker–Planck equation: Methods of solution and applications (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61544-5>
- [13] Särkkä, S., & Solin, A. (2019). Applied stochastic differential equations. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108235725>
- [14] Tuckwell, H. C. (1988). Introduction to theoretical neurobiology: Volume 2, nonlinear and stochastic theories. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623302>
- [15] Van Kampen, N. G. (2007). Stochastic processes in physics and chemistry (3rd ed.). North Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-044452965-7/50000-6>

Hepatosellulyar Karsinomanın İlkin Müalicə Seçimi üçün İntellektual Sistemin Yaradılması Algoritmi

Məsumə Məmmədova¹, Nuru Bayramov², Zərifə Cəbrayilova³, Minarə Manaflı⁴, Mehriban Hüseynova⁵

^{1,3,4}ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

^{2,5}Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²nurubay2006@yahoo.com, ³djabrailova_z@mail.ru, ⁴minulya@rambler.ru,

⁵mehribanhuseynova9@gmail.com

Xülasə—Məqalədə xərçəng xəstəlikləri arasında rastgəlmə tezliyinə görə 5-6-cı yerdə olan hepatosellulyar karsinomanın (HSK) ilkin müalicə seçimi ilə bağlı həkim qərarlarını dəstəkləyən intellektual sistemin yaradılması algoritmi verilmişdir. HSK çoxlu sayda parametrlərlə təyin edilir, onların ala biləcəyi qiymətlərə görə yaranan kliniki situasiyalar əsasında HSK-nın müalicəsində mərhələli klassik yanaşmaya görə rezeksiya, transplantasiya, ablasiya, embolizasiya, sistemik müalicə, simptomatik müalicə seçilir. Giriş parametrlərinin çoxluğu, mürəkkəbliyi, kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli olması HSK-nın müalicə seçimini çətin formalizə olunan məsələ kimi səciyyələndirir və onun həlli üçün intellektual sistemin işlənilməsinə aktuallaşdırır. Bu məqsədlə HSK-nın fərdi müalicə seçimi üçün multidissiplinar konsiliumda toplanan həkim biliklərinin intellektual sistemin bilik bazasına integrasiyası məsələsi həll edilmiş, sistemin arxitektura komponentlərinin iş prinsipi və reallaşdırılması algoritmi işlənilmişdir.

Açar sözlər— hepatosellulyar karsinoma; müalicə seçimi; həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən intellektual sistem; biliklərin təsviri modeli.

I. GİRİŞ

Qaraciyərin bədxassəli şişləri arasında ən geniş yayılan HSK dünyada xərçənglə əlaqəli ölümün əsas səbəblərindən biridir [1]. Xərçəng xəstəlikləri arasında HSK rastgəlmə tezliyinə görə 5-6-cı yerdədir. Hər il dünyada təxminən bir milyona yaxın insanda HSK tapılır [2]. Qaraciyərin bədxassəli şişləri arasında ən geniş yayılan HSK özünü müxtəlif kliniki vəziyyətlərlə büruzə verir və əksər vaxt hepatit və sirozla səhv salınır [3]. HSK-nın əsas diaqnostik əlaməti arteriyal fazada kontrast tutması, venoz fazada isə kontrastın yuyulmasıdır. O, ən çox 60-70 yaşlarında və əsasən kişilərdə (qadınlardan 2,5 dəfə çox) rast gəlinir. Bəzi riskli ölkələrdə (Uzaq Şərq, Afrika) daha çox 30-40 yaşlarında müşahidə edilir.

HSK progressiv və geriyyədməz prosesdir və müalicə olunmazsa bir neçə ay müddətində ağırlaşmalara və letallığa səbəb olur. HSK-nın müalicəsində aşağıdakı üsullardan istifadə edilir [4-6]:

- Cərrahi müalicələr – qaraciyər rezeksiyası və transplantasiyası;
- Loko-regional müalicələr – ablasiyalar (termal, elektro və kimyəvi destruksiya), intraarterial embolizasiyalar

(kimyəmbolizasiya, radiomebolizasiya), radioterapiya, arterial infuziyalar;

- Sistemik antikanser müalicələr (hədəf, immunoterapiya, sitotoksik kimyaterapiya);
- Simptomatik müalicələr.

HSK-da qaraciyər rezeksiyası, transplantasiyası və kiçik ölçülü törəmələrdə ablasiyalar radikal müalicələr sayılır. Loko-regional və sistemik üsullar isə şişin progressivləşməsinə və aqressivləşməsinə azaltmaq məqsədi daşıyır. HSK-da qaraciyər rezeksiyasına göstərişlər aşağıdakılardır:

- Törəmə rezekstabeldir – biodavranışına görə əməliyyata uyğundur, metastaz yoxdur və ya çıxarıla bilir, törəmə tam çıxarıla bilər və qalan qaraciyərin qan-axacaq təchizatı qorunur, böyük damarlara və ətraf orqanlara invaziya yoxdur;
- Qaraciyər rezekstabeldir – rezervləri yetərlidir (parenxima xəstəliyi və disfunksiyası yoxdur və ya minimaldır – Child A, MELD<9, ISG<35, Elastografiya<12), portal hipertenziya yoxdur, qalan qaraciyərin həcmi yetərlidir (normal qaraciyərdə 30%-dən, sirozda isə 50%-dən çoxdur);
- Xəstə operabeldir – yanaşı xəstəliklər və performans əməliyyata imkan verir.

HSK-da qaraciyər transplantasiyasına göstərişlər aşağıdakılardır:

- Törəmə transplantabeldir – törəmə çıxarıla bilir, törəmənin biodavranışı uyğundur (aqressivliyi azdır): ölçüsü 5 sm-dən kiçikdir, sayı 3-dən azdır, böyük damarlara, limfa düyününə, ətraf orqanlara invaziya və metastazları yoxdur, AFP (α -fetoprotein qaraciyərin ilkin xərçəng markeridir) səviyyəsi 200-400-dən aşağıdır.
- Transplantasiya imkanı var – donor orqanı var, immunosupressiyaya əks-göstəriş və pulmonor hipertenziyası yoxdur.
- Xəstə operabeldir – yanaşı xəstəliklər və performans əməliyyata və immunosupressiyaya imkan verir.

Əməliyyata əks-göstərişlər, yəni qeyri-rezektabel, qeyri-transplantabel və qeyri-operabellik əlamətləri olduqda rezeksiya və transplantasiya əks göstəriş sayılır.

Ümumiyyətlə, HSK-nın müalicəsinə klassik yanaşmada xəstəliyin mərhələsi, törəmənin biodavranışı, qaraciyərin vəziyyəti, xəstənin ümumi statusu və üsulun effektivliyi nəzərə alınır [7-9].

Müalicədə ilk seçim radikal üsullardır (rezeksiya, transplantasiya), ikinci seçim lokoregional müalicələrdir (ablasiya, embolizasiya), üçüncü seçim sistemik antikanser terapiyalardır, son seçim isə simptomatik müalicələrdir.

Ümumi yanaşma algoritmi üçün beynəlxalq klassifikasiyalar (klinik, NCCN, Barselona, Milan, Malatya və s.), fərdi müalicə seçimi üçün isə multidissiplinar konsiliumda müzakirə tövsiyə edilir.

Sadalananlar göstərir ki, müxtəlif kliniki əlamətlərlə özünü biruzə verən HSK-nın müalicə seçimində çoxlu sayda parametrlərə istinad olunur. Bu parametrlərin ala biləcəyi qiymətlərin müxtəlif kombinasiyalarından yaranan kliniki situasiyalara uyğun olaraq multidissiplinar konsiliumda mərhələ əsaslı müalicə seçimi üzrə yuxarıdakı müalicə üsullarından biri seçilir. İstinad edilən parametrlərin çoxluğu, mürəkkəbliyi, iyerarxiikliyi, həm kəmiyyət və həm də keyfiyyət xarakterli olması HSK-nın müalicə seçimi məsələsinin qeyri-müəyyən mühitdə reallaşdığını əsaslandırır, həkim-mütəxəssislərin biliklərinə əsaslanan intellektual sistemin işlənilməsinə zəruri edir.

Belə bir sistemin yaradılması onun arxitektura-texnoloji prinsiplərinin, həkim-mütəxəssislərdən alınan biliklərin sistemə inteqrasiyasının, sistemin reallaşdırılması algoritminin işlənilməsinə tələb edir. Təqdim edilən məqalə bu problemlərin həllinə həsr edilmişdir.

II. ƏLAQƏLİ ƏDƏBİYYATIN İCMALI

Bugün informasiya texnologiyalarının və süni intellekt metodlarının tətbiqi ilə tibbin müxtəlif sahələrində həkim qərarlarının qəbulunun dəstəklənməsi sistemlərinin yaradılması sahəsində ənənəvi metodologiya formalaşsa da [10], ədəbiyyatda HSK-nın müalicə seçimi üçün həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən instrumental vasitələrə rast gəlinmir.

[11]-də qaraciyər xəstəliklərinin lokal mühitdə diaqnostikası üçün həkim qərarlarının qəbul edilməsini dəstəkləyən sistemin funksionallaşma prinsipləri təqdim edilmişdir. Sistem qaraciyər xəstəliklərinin diaqnostikası üzrə ekspert-həkimin bilikləri əsasında formalaşdırılmış 28 qaydadan ibarət bilik bazası, nəticə çıxarma bloku və interfeys blokundan ibarətdir. Bu sistemdə qaraciyərin xəstə olması ilə bağlı diaqnostik qərarların qəbulu prosesinin avtomatlaşdırılması həllini tapsa da, hepatit, piylənmə, sirroz, HSK kimi konkret xəstəliklərlə bağlı qərarların qəbulu prosesi sistem tərəfindən dəstəklənməmişdir.

[12]-də qaraciyər xəstəliklərinin diaqnostikası sisteminin yaradılmasında əsas komponentlərin analizi və K-yaxın qonşular metodlarına əsaslanan kompleks yanaşma təsvir edilmişdir. [13]-də hepatit xəstəliyinin aşkarlanması üçün süni neyron şəbəkələr əsasında modellər işlənilmişdir. [14]-də qaraciyər şişinin yarımavtomatik seqmentasiyası metodikasının işlənməsi, [15]-də hepatobiliar xəstəliklərin klassifikasiyası məsələlərinin həlli üçün qeyri-səlis məntiq istifadə

olunmuşdur. [16]-də qaraciyər xəstəliklərinin aşkarlanması, [17]-də qaraciyər xəstəliklərinin klassifikasiyasının dəqiqliyinin artırılması üçün, [18]-də isə qaraciyər xəstəliklərinin klassifikasiyası ilə yanaşı, həm də hepatitin proqnozunun dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi üçün süni neyron şəbəkələr və qeyri-səlis məntiqin inteqrasiyasından istifadə olunmuşdur. [19]-də süni neyron şəbəkələr və genetik alqoritmin inteqrasiyasından qaraciyər xəstəliklərinin aşkarlanması və xroniki hepatit zamanı qaraciyərin fibrozunun stabilizasiyası üçün istifadə olunmuşdur. [20]-də qaraciyər xəstəliklərinin aşkarlanması üçün qeyri-səlis məntiq və genetik alqoritmlərin inteqrasiyası, [21]-də qaraciyərin transplantasiyası ilə bağlı qərarların qəbulu üçün süni neyron şəbəkələrin və genetik alqoritmlərin inteqrasiyası istifadə olunmuşdur. [22]-də HSK-nın proqnozlaşdırılması üçün maşın təlimi metodlarından istifadə imkanları araşdırmış, ən effektiv metodun seçilməsi istiqamətində aparılan tədqiqatın nəticələri verilmişdir.

Göründüyü kimi, bu tədqiqatlarda ümumilikdə qaraciyər xəstəliklərində intellektual texnologiyaların tətbiqlə müxtəlif xarakterli problemlərin həlli imkanlarına baxılmışdır. Qaraciyərin bədxassəli şişləri arasında ən geniş yayılan HSK-nın diaqnostikası, müalicə üsulunun seçilməsi üçün həkim-mütəxəssislərin bilikləri əsasında intellektual sistemlərin yaradılması probleminin həllinə baxılmamışdır.

[23-25]-də, tərəfimizdən HSK-nın diaqnozu üçün istifadə edilən parametrlərin çoxfaktorlu olduğu, özlərini zəif və qeyri-tipik əlamətlərlə büruzə verdiyi, informasiyanın natamamlığı və qeyri-dəqiq olduğu, qərarların qəbulu prosesinin qeyri-müəyyənlik şəraitində baş verdiyi əsaslandırılmışdır. [23]-də HSK-nın diaqnostikası, yəni onun mərhələlərinin təyini üçün həll ağacı yanaşması, qeyri-səlis məntiq və biliklərin təsvirinin produksiya və məntiqi modeli əsasında qeyri-səlis qaydalara əsaslanan sistemin konseptual modeli verilmiş, [24]-də HSK-nın mərhələlərinin təyini üçün həkim-ekspertlərdən alınmış biliklərin produksiya modeli əsasında qaydalara transformasiyası, diaqnostik sistemin bilik bazasının formalaşması mexanizmləri işlənilmişdir. Bu tədqiqatların məntiqi davamı HSK-nın diaqnostikası üçün ekspert sistemin funksionallaşma prinsiplərinin işlənilməsi olmuşdur [25].

Hazırkı **tədqiqat işinin məqsədi** HSK-nın müalicə seçimində mərhələ əsaslı klassik yanaşmadan istifadə etməklə həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən intellektual sistemin yaradılması metodologiyasının işlənməsidir.

III. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ

Qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün HSK-nın müalicə seçimi, yəni HSK-nın bütün mümkün kliniki situasiyalarının rezeksiya, transplantasiya, ablasiya, embolizasiya, sistemik və simptomatik müalicə üzrə təsnifləndirilməsini dəstəkləyən intellektual sistemin işlənilməsi və praktiki reallaşdırılması məsələlərinin həlli nəzərdə tutulur.

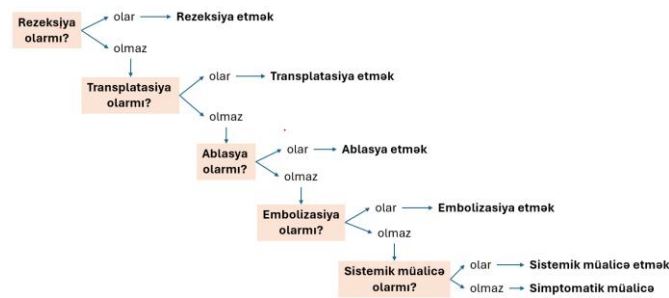
HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistem verilənlər bazası (VB), bilik bazası (BB), məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi (MNM) və istifadəçi ilə sistem arasında qarşılıqlı ünsiyyət təmin edən interfeys blokundan ibarətdir. Bu komponentlər vahid sistemdə qarşılıqlı əlaqədə

fəaliyyət göstərdikdə nəzərdə tutulan məqsədə nail olmaq mümkündür. Beləliklə, məsələnin həlli aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir.

A. HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin verilənlər bazasının yaradılması

HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin yaradılması üçün bilik mənbəyi olaraq Azərbaycan Tibb Universiteti I Cərrahi Xəstəliklər klinikasının həkim-mütəxəssislərinin biliklərinə və qərarların qəbulu üçün klassik yanaşmaya istinad olunmuşdur.

HSK-nın müalicəsinə klassik yanaşma mərhələ əsaslı müalicə seçimidir və bu mərhələləri sxematik olaraq aşağıdakı kimi göstərmək olar (şəkil 1).



Şəkil 1. HSK-nın müalicə seçiminə mərhələ əsaslı klassik yanaşma

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, HSK-nın müalicə seçimi HSK-nı xarakterizə edən parametrlərin aldığı qiymətlərə görə formalaşan kliniki situasiyadan asılıdır.

HSK-nın müalicə seçimində 44 parametmə istinad edilir, onlardan bir qisminin adı, ala biləcəyi qiymətlər və şərti işarələnmələri cədvəl 1-də verilmişdir.

HSK-nın müalicə seçimində müayinə verilənləri və onların cari qiymətlərini yadda saxlamaq üçün intellektual sistemin verilənlər bazası (işçi yaddaş) yaradılır.

B. HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin bilik bazasının yaradılması

Cədvəl 1-də göstərilən müayinə verilənlərinin ala biləcəyi qiymətlərin standart kombinasiyası HSK-nın müalicəsində klassik yanaşmaya görə şəkil 1-də göstərilən mərhələlərdən birinə uyğundur və bu uyğunluğa görə HSK-nın müalicəsi üsulu seçilir.

Beləliklə, 44 müayinə verilənlərinin ala biləcəyi qiymətlər əsasında HSK-nın müalicəsinin seçilməsi ilə bağlı ekspert-həkimlərdən alınmış biliklərin (mühakimələrin) qaydalara transformasiyası yerinə yetirilir və onlar aşağıda göstərilmişdir.

CƏDVƏL 1. MÜAYİNƏ VERİLƏNLƏRİ, ONLARIN ALA BİLƏCƏYİ QIYMƏTLƏR VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏNMƏLƏRİ

Nö	Müayinə veriləni	Şərti işarələnmə	Müayinə verilənlərinin ala biləcəyi qiymət	Müayinə verilənlərinin qiymətinin şərti işarələnməsi
1.	Törəmənin ölçüsü	X ₁	Ədəd	
2.	Törəmənin sayı	X ₂	Ədəd	
3.	Törəmənin yeri	X ₃	Bir payda/ iki payda/ Markazi öd yolu qonşu, Egzofit böyümüş subkapsulyar törəmə	Y ₃₁ / Y ₃₂ / Y ₃₃
4.	Seqmentar portal venaya invaziya	X ₄	Var/yox	Y ₄₁ / Y ₄₂
5.	Bir payın portal venasına invaziya	X ₅	Var/yox	Y ₅₁ / Y ₅₂
6.	Hər iki payın portal venasına invaziya	X ₆	Var/yox	Y ₆₁ / Y ₆₂
7.	Əsas portal venaya invaziya	X ₇	Var/yox	Y ₇₁ / Y ₇₂
8.	Sağ hepatik venaya invaziya	X ₈	Var/yox	Y ₈₁ / Y ₈₂
9.	Sol hepatik venaya invaziya	X ₉	Var/yox	Y ₉₁ / Y ₉₂
10.	Orta hepatik venaya invaziya	X ₁₀	Var/yox	Y ₁₀₁ / Y ₁₀₂
11.	İki hepatik venaya invaziya	X ₁₁	Var/yox	Y ₁₁₁ / Y ₁₁₂
12.	Üç hepatik venaya invaziya	X ₁₂	Var/yox	Y ₁₂₁ / Y ₁₂₂
13.	ABV-yə invaziya	X ₁₃	Var/yox	Y ₁₃₁ / Y ₁₃₂
14.	Limfa düyününə yayılma	X ₁₄	Var/yox	Y ₁₄₁ / Y ₁₄₂
15.	Metastaz-tək çıxabilir	X ₁₅	Var/yox	Y ₁₅₁ / Y ₁₅₂
16.	Metastaz-tək çıxabilməz	X ₁₆	Var/yox	Y ₁₆₁ / Y ₁₆₂
17.	Metastaz çoxsaylı	X ₁₇	Var/yox	Y ₁₇₁ / Y ₁₇₂
...	...	...	...	...
33.	Child	X ₃₃	A/B/C	A/B/C
34.	MELD	X ₃₄	ədəd	
35.	Rezeksiyadan sonra qalan həcm-normal Qc	X ₃₅	ədəd	
36.	Rezeksiyadan sonra qalan həcm-sirrofik Qc	X ₃₆	ədəd	
37.	Rezeksiyadan sonra qalan həcm-yağlı Qc	X ₃₇	ədəd	
38.	Donor	X ₃₈	Var/yox	Y ₃₈₁ / Y ₃₈₂
39.	İmmunosupressiya əks göstəriş	X ₃₉	Var/yox	Y ₃₉₁ / Y ₃₉₂
40.	Aktiv infeksiyalar	X ₄₀	Var/yox	Y ₄₀₁ / Y ₄₀₂
41.	Aktiv bədxassəli xasətliliklər	X ₄₁	Var/yox	Y ₄₁₁ / Y ₄₁₂
42.	Ekstrahepatik orqan yetməzliyi (korreksiya olunmayan)	X ₄₂	Var/yox	Y ₄₂₁ / Y ₄₂₂
43.	Performans (ECOG)	X ₄₃	ədəd	
44.	Zəiflik (dəqiqəlik yerinə məsafəsi- m)	X ₄₄	ədəd	

Qayda 1. IF $[(x_3=y_{31}) \& (x_6=y_{62}) \& (x_7=y_{72}) \& (x_{12}=y_{122}) \& (x_{13}=y_{132}) \& (x_{16}=y_{162}) \& (x_{17}=y_{172}) \& (x_{21}=y_{212}) \& (x_{22}=y_{222}) \& (x_{23}<3) \& (x_{24}<1,7) \& (x_{27}=y_{272}) \& (x_{28}=y_{282}) \& (x_{29}=y_{292}) \& (x_{30}=y_{302}) \& (x_{31}<35) \& (x_{33}=(A \vee B)) \& (x_{34}<9) \& ((x_{35}\geq 30) \vee (x_{36}\geq 40) \vee (x_{37}\geq 35)) \& (x_{40}=y_{402}) \& (x_{41}=y_{412}) \& (x_{42}=y_{422}) \& (x_{43}=(0 \vee 1 \vee 2))]$ Then **“Rəzeksiya olar”**

Qayda 2. IF $[(x_1\leq 5) \& (x_2\leq 3) \& (x_3=(y_{31} \vee y_{32})) \& (x_4=y_{42}) \& (x_5=y_{52}) \& (x_6=y_{62}) \& (x_7=y_{72}) \& (x_8=y_{82}) \& (x_9=y_{92}) \& (x_{10}=y_{102}) \& (x_{11}=y_{112}) \& (x_{12}=y_{122}) \& (x_{13}=y_{132}) \& (x_{14}=y_{142}) \& (x_{15}=y_{152}) \& (x_{16}=y_{162}) \& (x_{17}=y_{172}) \& (x_{19}\leq 200) \& (x_{26}\leq 100) \& (x_{31}<35) \& (x_{38}=y_{381}) \& (x_{39}=y_{392}) \& (x_{40}=y_{402}) \& (x_{41}=y_{412}) \& (x_{42}=y_{422}) \& (x_{43}=(0 \vee 1 \vee 2))]$ Then **“Transplantasiya olar”**

Qayda 3. IF $[(x_1\leq 3) \& (x_2\leq 3) \& (x_3=(y_{31} \vee y_{32})) \& (x_4=y_{42}) \& (x_5=y_{52}) \& (x_6=y_{62}) \& (x_7=y_{72}) \& (x_8=y_{82}) \& (x_9=y_{92}) \& (x_{10}=y_{102}) \& (x_{11}=y_{112}) \& (x_{12}=y_{122}) \& (x_{13}=y_{132}) \& (x_{21}=y_{212}) \& (x_{22}=y_{222}) \& (x_{24}\leq 1,7) \& (x_{28}=y_{282}) \& (x_{29}=y_{292}) \& (x_{33}=(A \vee B)) \& (x_{40}=y_{402}) \& (x_{41}=y_{412}) \& (x_{43}=(0 \vee 1 \vee 2))]$ Then **“Abliasiya etmək”**

Qayda 4. IF $[(x_6=y_{62}) \& (x_7=y_{72}) \& (x_{21}=y_{212}) \& (x_{22}=y_{222}) \& (x_{23}<3) \& (x_{24}\leq 1,7) \& (x_{28}=y_{282}) \& (x_{29}=y_{292}) \& (x_{30}=y_{302}) \& ((x_{33}=(A \vee B)) \& (x_{40}=y_{402}) \& (x_{41}=y_{412}) \& (x_{42}=y_{422}) \& (x_{43}=(0 \vee 1 \vee 2))]$ Then **“Embolizasiya etmək”**.

Qayda 5. IF $[(x_{21}=y_{212}) \& (x_{22}=y_{222}) \& (x_{23}>3) \& (x_{24}<1,7) \& (x_{27}=y_{272}) \& (x_{28}=y_{282}) \& (x_{29}=y_{292}) \& (x_{30}=y_{302}) \& (x_{33}=A) \& (x_{40}=y_{402}) \& (x_{42}=y_{422}) \& (x_{43}=(0 \vee 1 \vee 2))]$ Then **“Sistemik müalicə etmək”**.

C. HSK-nın diaqnostikası ekspert sisteminin məntiqi nəticə çıxarma mexanizminin formalaşdırılması

Sistemin məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi 4 altmoduldan təşkil olunur: müayinə verilənlərinin emalı modulu (MVEM), nəticənin formalaşdırılması modulu (NFM), HSK-nın müalicəsi üsuluna (mərhələsinə) uyğun sxemin formalaşması modulu (SFM), seçilmiş müalicə üsuluna uyğun giriş verilənlərinin cədvəl görüntüsünün formalaşdırılması modulu (VGFM). Daxil olan cari giriş verilənləri, yəni müayinə verilənləri əsasında MVEM-də yeni fakt formalaşır, həmin faktın BB-dəki qaydaların antisident (şərt) hissəsi ilə uyğunluğunun yoxlanılması və uyğunluq halı təsdiqləndikdə həmin qaydanın işə düşməsi NFM-də reallaşır.

İşə düşən qaydaya uyğun sxemin alınması və qaydanın nəticə hissəsinin interfeys blokuna ötürülməsi SFM, sistemə daxil edilən müayinə verilənlərinin aldığı qiymətlərin cədvəl şəklində interfeys blokuna ötürülməsi isə VGFM vasitəsilə yerinə yetirilir.

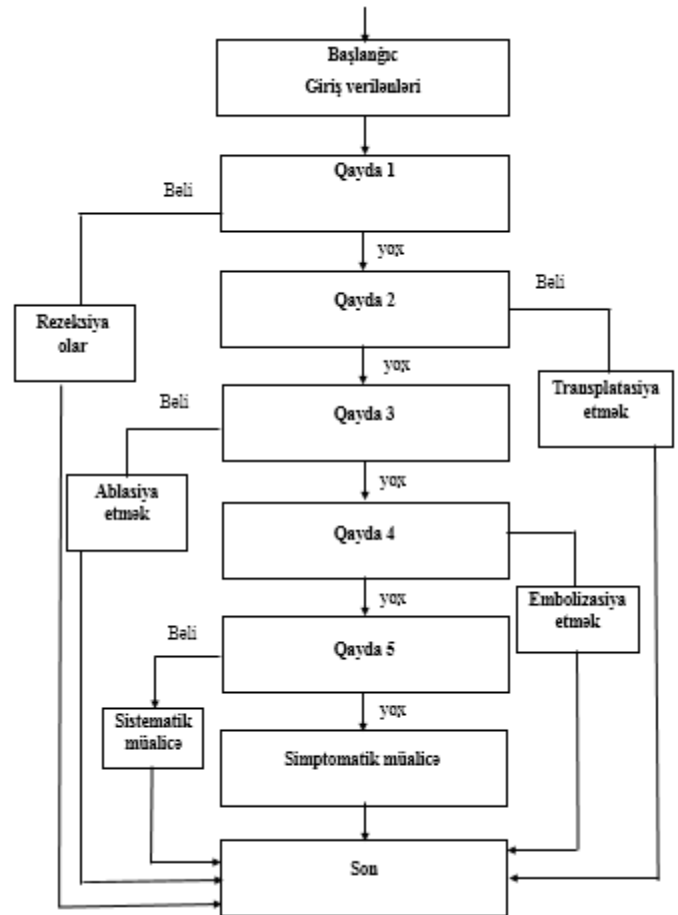
D. HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin interfeys bloku

İnterfeys bloku istifadəçi-həkim ilə ekspert sistem arasında ünsiyyəti təmin etmək üçündür. Bu blok vasitəsilə ekranın idarə olunması, ekspert sistemlə dialoqun təşkili, sistemə ilkin verilənlərin (müayinə verilənlərinin qiymətlərinin) daxil edilməsi və nəticələrin istifadəçiyə çatdırılması funksiyaları yerinə yetirilir.

E. Sistemin reallaşdırılması

HSK-nın müalicə seçimi üçün intellektual sistem obyekt yönümlü proqramlaşdırma dili olan C# dilində işlənmişdir. C# masaüstü və veb proqramlar, mobil proqramlar, Unity əsasında oyunlar, Microsoft Azure-da bulud proqramları, verilənlər bazası ilə işləmək üçün proqramlar daxil olmaqla geniş çeşiddə proqramların işlənilib hazırlanmasında istifadə olunur. Bu, müxtəlif platformalarda istifadə olunan çox çevik proqramlaşdırma dilidir.

Sistemdə müalicə seçimi ilə bağlı qərarların qəbulu alqoritminin blok-sxemi şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. HSK-nın müalicə seçimi intellektual sistemdə qərarların qəbulu alqoritmi.

HSK-nın müalicə seçimi üçün intellektual sistemə giriş pəncərəsi şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemə giriş pəncərəsi.

Sistemə daxil olduqdan sonra istifadəçi-həkimin qarşısında şəkil 4-dəki pəncərə açılır. Bu interfeys pəncərəsi hər biri HSK-nın müayinə verilənləri və onların ala biləcəyi qiymətlərə uyğun olan çoxlu sayda altıpəncərələrdən ibarətdir. Hər bir belə pəncərə aktivdir və istifadəçi-həkimə cari müayinə verilənlərini daxil etməyə imkan verir. Müayinə verilənlərinin cari qiymətləri açılan interfeys pəncərəsindən sistemə daxil edilir və “İlkin nəticə” düyməsi sıxılır.

Sistemə daxil edilmiş müayinə verilənlərinin cari qiymətləri VB-də qeydə alınır. Bu verilənlər həm də MNM-də MVEM-ini formalaşdırır.

Hepatosellüler karsinomunun ilkin müalicə seçimi

Törəmələrin sayı:

Törəmələrin ən böyüklüyünün ölçüsü:

Törəmələrin yeri:

Damar invaziyası:

Segmentar portal venaya invaziya	Var	Yoxdur
Bir payın portal venasına invaziya	Var	Yoxdur
Hər iki payın portal venasına invaziya	Var	Yoxdur
Əsas portal venaya invaziya	Var	Yoxdur
Sağ hepatik venaya invaziya	Var	Yoxdur
Sol hepatik venaya invaziya	Var	Yoxdur
Orta hepatik venaya invaziya	Var	Yoxdur
İki hepatik venaya invaziya	Var	Yoxdur
Üç hepatik venaya invaziya	Var	Yoxdur
ABV-yə invaziya	Var	Yoxdur
Limfa düyünlüyə yayılma	Var	Yoxdur

Şəkil 4. HSK-nın müalicə seçimi üçün müayinə verilənlərinin qiymətlərinin açılan interfeys pəncərəsindən sistemə daxil edilməsi.

Sonuncu BB-dəki qaydaların şərt hissəsi ilə tutuşdurulur və üs-üstə düşmə halı baş verdikdə həmin qaydanın nəticə (HSK-nın müalicə üsulu) hissəsi MNM-də olan NFM-də qeydə alınır.

Formalaşmış nəticəyə uyğun olan qayda əsasında MNM-də HSK-nın seçilmiş müalicə üsulu (məsələn, “Rezeksiya olar”) SFM vasitəsilə interfeys pəncərəsinə ötürülür. Daha sonra daxil edilmiş verilənlər və onların aldıkları qiymətlər əsasında VGFM-də formalaşdırılan cədvəl görüntüsü interfeysə ötürülür. Beləliklə, MNM-də qeydə alınmış HSK-nın seçilmiş müalicə üsulu (“Rezeksiya etmək”, “Transplantasiya etmək”,

“Ablasiya etmək”, “Embolizasiya etmək”, “Sistemik müalicə etmək”, “Simptomatik müalicə etmək”) haqqında nəticə və daxil edilmiş verilənlər və onların qiymətləri interfeys bloku vasitəsi ilə istifadəçiyə təqdim edilir (şəkil 5).

İlkin müalicə

Rezeksiya olar

Törəmələrin sayı	1	INR	1.6
Törəmələrin ən böyüklüyünün ölçüsü	2.5	Trombosit	55
Yeri	Bir payda	QQT	75
Segmentar portal venaya invaziya	Yoxdur	Asit	Yoxdur
Bir payın portal venasına invaziya	Var	Vasköz qanaxma	Yoxdur
Hər iki payın portal venasına invaziya	Yoxdur	Ensefalopatiya	Yoxdur
Əsas portal venaya invaziya	Yoxdur	Dekompensasiya	Yoxdur
Sağ hepatik venaya invaziya	Var	Pulmonar hipertensiya	32
Sol hepatik venaya invaziya	Yoxdur	İSG (15 dəqiqəlik)	11.6
Orta hepatik venaya invaziya	Var	Child	B
İki hepatik venaya invaziya	Yoxdur	MELD	8.4
Üç hepatik venaya invaziya	Yoxdur	Rezeksiyadan sonra qalıq həcm-normal Qe	52.8
ABV-yə invaziya	Yoxdur	Rezeksiyadan sonra qalıq həcm-sürekli Qe	15
Limfa düyünlüyə yayılma	Yoxdur	Rezeksiyadan sonra qalıq həcm-yığıl Qe	31.8
Mənəvi cəhətdən	Var	Düvr	Yoxdur
Mənəvi cəhətdən	Yoxdur	İmmunosuppressiya ilə gətirib	Yoxdur
Mənəvi cəhətdən	Yoxdur	Altıncı həftəyə qədər	Yoxdur
Dərəcəsi	Aşağı	Altıncı həftəyə qədər	Yoxdur
AFP	77	Ekstrahepatik orqan yeməliyi (rezeksiya olunmayan)	Yoxdur
Sürət	Yoxdur	Performans (ECOG)	2
Kəskin hepatit	Yoxdur	Zədəli (6 dəqiqəlik yerləşmə məsafəsi - m)	450
Kəskin qaraciyər yeməliyi	Yoxdur		
Bələhətə	2.9		

Şəkil 5. HSK-nın müalicə seçimi intellektual sistemində nəticənin istifadəçiyə çatdırılması üçün interfeys pəncərəsi.

Şəkil 4-də göstərilən situasiyaya uyğun müalicə üsulunun seçimi “Rezeksiya etmək” qərar variantına uyğundur. Bu qərar HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin BB-də Qayda 1-in aktivləşməsi nəticəsində alınmışdır.

IV. NƏTİCƏ

HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistem həkim qərarlarının dəstəklənməsi üçün yaradılmışdır. Arxitektura komponentləri verilənlər bazası, bilik bazası, nəticə çıxarma mexanizmi və interfeys blokundan ibarət olan sistem Visual Study 2019 platformasında C# proqramlaşdırma dilində reallaşdırılmışdır.

HSK-nın müalicə seçimini dəstəkləyən intellektual sistemin Azərbaycan Tibb Universitetinin I Cərrahi xəstəliklər kafedrasının həkim-mütəxəssislərinin iştirakı ilə keçirilən sınaqları zamanı onun fərdi müalicə seçimi üçün multidissiplinar konsiliumda həkim qərarlarının qəbulunu dəstəkləyən ekspert sistem kimi istifadəyə yararlı olduğu təsdiqlənmişdir.

İSTİNADLAR

- [1] R. R. Arich, F. Alessandro, T. F. David, S. Eizaburo, A. B. Amir, T. H. Matthew, E. T. Mitchell, “Infiltrative hepatocellular carcinoma: what radiologists need to know”, *Radiographics*, 35(2), 371-386 (2015). doi: 10.1148/rg.352140114.
- [2] N. Y. Bayramov, “Surgical diseases of the liver”, 2012, in press. Bakı: Qismet.
- [3] D. Q. Huang, A. Tran, E. X. Tan, S. N. Nerurkar, R. Teh, M. L. P. Teng, E. J. Yeo, B. Zou, C. Wong, C. O. Esquivel, C. A. Bonham, M. H. Nguyen, “Characteristics and outcomes of hepatocellular carcinoma patients with macrovascular invasion following surgical resection: a meta-analysis of 40 studies and 8,218 patients”, *Hepatobiliary Surg Nutr*, 2022, vol.11, no. 6, pp. 848-860.

- [4] S. Ray, N. N. Mehta, A. Golhar, S. Nundy, “Post hepatectomy liver failure – A comprehensive review of current concepts and controversies”, *Annals of Medicine and Surgery*, 2018, no. 34, pp.4-10. doi:10.1016/j.amsu.2018.08.012
- [5] F. Calderon, E. Masino, L. Caram, V. Ardiles, “Short-and-Long-Term Outcomes of Hepatic Resection for Hepatocellular Carcinoma in Cirrhotic and Non-Cirrhotic Liver Parenchyma”, *Journal of Surgery and Clinical Reports*, 2021, May.
- [6] D. Citterio, A. Facciorusso, C. Sposito, R. Rota, S. Bhoori, V. Mazzaferro, “Hierarchic Interaction of Factors Associated With Liver Decompensation After Resection for Hepatocellular Carcinoma”, *JAMA Surgery*, 2016, Vol. 151, no. 9. doi:10.1001/jamasurg.2016.1121
- [7] S. Park, A. M. Davis, A. A. Pillai, “Prevention, Diagnosis, and Treatment of Hepatocellular Carcinoma”, *JAMA*, Published online August 29, 2024. doi:10.1001/jama.2024.14101
- [8] Z.J. Brown, D. I. Tsilimigras, S. M. Ruff, et al., “Management of Hepatocellular Carcinoma: A Review”, *JAMA surgery*, 2023, vol. 158, no. 4, pp. 410-420. doi:10.1001/jamasurg.2022.7989
- [9] D. J. H. Tan, C. WongC, C. H. Ng, et al., “A Meta-Analysis on the Rate of Hepatocellular Carcinoma Recurrence after Liver Transplant and Associations to Etiology, Alpha-Fetoprotein, Income and Ethnicity”, *Journal of Clinical Medicine*, 2021, vol 10. doi:10.3390/jcm10020238
- [10] Российский патент 2021 года по МПК G16H10/60 G16H50/20 «Система для поддержки принятия врачебных решений» RU2752792C1.
- [11] M. Mirmozaffari, “Developing an expert system for diagnosing liver diseases”, *European Journal of Engineering Research and Science*, vol. 4, no. 3, March 2019. <https://www.ej-eng.org/index.php/ejeng/article/view/1168/462>
- [12] S. Aman, P. Babita, “An Efficient Diagnosis System for Detection of Liver Disease Using a Novel Integrated Method Based on Principal Component Analysis and K-Nearest Neighbor (PCA-KNN)”, *International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 56–61.
- [13] J. S. Sartakhti, M. H. Zangooei, K. Mozafari, “Hepatitis disease diagnosis using a novel hybrid method based on support vector machine and simulated annealing (SVM-SA)”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2015, vol. 108, no. 2, pp. 570–579.
- [14] D. N. Li, C. K. Chui, S. Chang, S. H. Ong, “A new unified level set method for semi-automatic liver tumor segmentation on contrast-enhanced CT images”, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol.39, no.10, pp.9661–9668.
- [15] L. K. Ming, L. C. Kiong, L. W. Soong, “Autonomous and deterministic supervised fuzzy clustering with data imputation capabilities. *Applied Soft Computing*, 2011, vol.11, no.1, pp.1117–1125.
- [16] S. Kulluk, L. Ozbakır, A. Baykasoğlu, “Fuzzy DIFACONN-miner: A novel approach for fuzzy rule extraction from neural networks”, *Expert Systems with Applications*, 2013, vol. 40, no.3, pp.938–946.
- [17] D. C. Li, C. W. Liu, S. C. Hu, “A learning method for the class imbalance problem with medical data sets”, *Computers in Biology and Medicine*, 2010, vol.40, no.5, pp.509–518.
- [18] E. Mezyk, O. Unold, “Mining fuzzy rules using an Artificial Immune System with fuzzy partition learning”, *Applied Soft Computing*, 2011, vol.11, no.2, pp.1965–1974.
- [19] F. Gorunescu, S. Belciug., M. Gorunescu, R. Badea, “Intelligent decision-making for liver fibrosis stadialization based on tandem feature selection and evolutionary-driven neural network”, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol.39, no.17, pp.12824–12832.
- [20] Y. Torun, G. Tohumoglu, “Designing simulated annealing and subtractive clustering based fuzzy classifier”, *Applied Soft Computing*, 2011, vol.11, no.2, pp.2193–2201.
- [21] M. Aldape-Perez, C. Yanez-Marquez, O. J. Camacho-Nieto, A. Arguelles-Cruz, “An associative memory approach to medical decision support systems”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2012, vol.106, pp.287–307. doi:10.1016/j.cmpb.2011.05.002 PMID:21703713
- [22] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, L. A. Garayeva, A. I. Ahmadova, “Prediction of hepatocellular carcinoma using a machine learning”, *The 16th IEEE International Conference Application of Information and Communication Technologies (AICT-2022)*, Washington DC, 12-14 Oct 2022, INSPEC Accession Number: 22541899, DOI: 10.1109/AICT55583.2022.10013575 <https://ieeexplore.ieee.org/document/10013575>
- [23] M. H. Mammadova, N. Y. Bayramov, Z. G. Jabrayilova, “Development of the principles of fuzzy rule-based system for hepatocelular carcinoma staging”, *EUREKA: Physics and Engineering*, 2021, no. 3, pp. 3–13, doi:<https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001829>
- [24] M. H. Mammadova, N. Y. Bayramov, Z. G. Jabrayilova, M. I. Manafli, M. R. Huseynova, “Knowledge transformation in the intelligent system for hepatocellular carcinoma staging” *Proceedings of the 8th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA'2022)*, 24-26 August 2022, Baku, Azerbaijan, vol.1, pp. 318-321.
- [25] M. H. Məmmədova, N. Y. Bayramov, Z. Q. Cəbrayilova, M. I. Manafli, M. R. Hüseynova, “Hepatosellülyar karsinomanın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının dəstəklənməsi sistemi”, *Azərbaycan Tibb Jurnalı*, 2024, №4, s.163–169.

Dağınıq Skleroz Xəstəliyinin İdarə Olunmasında Süni İntellekt Texnologiyalarının Tətbiqi

Fatimə Əliyeva¹, Aytən Məmmədbəyli², Rəna Şirəliyeva³

^{1,2}Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

³Ə.Əliyev adına Azərbaycan Dövlət Həkimləri Təkmilləşdirmə İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹faliyeva2@amu.edu.az, ²ayten2001@gmail.com, ³rana.shiraliyeva@gmail.com

Xülasə— Dağınıq skleroz (DS) klinik təzahürlərinin heterogenliyi ilə seçilən xroniki autoimmun xəstəlikdir. Son illərdə süni intellekt (Sİ) metodlarının, xüsusilə maşın öyrənməsi (ML) və dərin öyrənmə (DL) texnikalarının tətbiqi DS xəstəliyinin idarə edilməsində yeni imkanlar yaratmışdır. Bu tədqiqat çərçivəsində DS xəstəliyinin diaqnostika, müalicə və proqnozunda Sİ imkanları araşdırılmışdır. Araşdırma nəticəsində məlum olmuşdur ki, Recurrent Neural Networks modelləri zaman ardıcılığını effektiv modelləşdirərək xəstəliyin uzunmüddətli proqnozlaşdırılmasında üstünlük göstərir. Random forest və XGBoost modelləri relaps riskinin və proqressiya ehtimalının yüksək dəqiqliklə qiymətləndirilməsini təmin edir. MindGlide platforması MRT təhlilini sürətləndirir, CDSS sistemləri isə fərdi müalicə qərarlarının optimallaşdırılmasına şərait yaradır. Biomarker əsaslı modellər subklinik mərhələdə xəstəliyin aşkarlanmasına yeni imkanlar açır. Nəticə etibarilə, kliniki, radioloji və molekulyar məlumatların multimodal integrasiyasına əsaslanan hibrid model yanaşmaları DS xəstəliyinin fərdiləşdirilmiş idarə olunması və erkən müdaxilə strategiyalarının inkişaf etdirilməsi üçün perspektivli yanaşma təklif edir.

Açar sözlər— Dağınıq skleroz, Süni intellekt, Maşın öyrənməsi, Dərin öyrənmə, MindGlide, hibrid modellər, diaqnostika, proqnoz.

I. GİRİŞ

Dağınıq skleroz (DS) mərkəzi sinir sisteminə iltihab, demiyelinizasiya və neyrodegenerasiya ilə xarakterizə olunan, gedişatı zamanla dəyişən və proqressivləşən xroniki autoimmun xəstəlikdir [1]. Patologiya zamanı sinir impulslarının ötürülməsi zəifləyir və ya tamamilə pozulur ki, bu da müxtəlif funksional pozulmalara gətirib çıxarır. Dünyada 2.8 milyondan çox insan bu xəstəlikdən əziyyət çəkir və gənc insanlarda (20-40 yaş) travmadan sonra əlilliyin ikinci ən yayılmış səbəbidir.

DS əsasən 20-40 yaşlarında aşkarlanır və qadınlarda kişilərə nisbətən iki dəfə çox rast gəlinir. Xəstəliyin etiologiyası multifaktorialdır-genetik meyillilik, virus infeksiyaları (xüsusilə Epşteyn-Barr virusu), ətraf mühitin təsiri (məsələn, D vitamini çatışmazlığı və siqaret istifadəsi) xəstəliyin inkişafında mühüm rol oynayır.

DS-un kliniki təzahürləri çoxşəxəlidir: sensor, motor pozulmalar, görmədə dəyişikliklər, yorğunluq, çanaq orqanlarının disfunksiyası, koqnitiv geriləmə və psixi simptomlar xəstədən xəstəyə fərqlənir. Bu cür heterogenlik

diaqnostikani çətinləşdirir və xəstəliyin proqnozunu mürəkkəbləşdirir.

Son illərdə süni intellekt (Sİ) alqoritmlərinin tətbiqi DS-un diaqnostikası, müalicəsi və proqnozlaşdırılmasında yeni imkanlar yaratmışdır [2].

Bu texnologiyalar klinik və radioloji məlumatları analiz etməklə xəstəliyin daha erkən mərhələdə aşkar olunmasına və fərdi müalicə planlarının tərtibinə şərait yaradır. Genetik, biokimyəvi və görüntü əsaslı dataların Sİ –lə integrasiyası sahəsində daha səmərəli idarəetmə modelləri formalaşmaqdadır [3].

II. PROBLEMİN QOYULUŞU

DS diaqnostika və müalicəsi bir sıra ciddi çətinliklərlə müşayiət olunur. Xəstəliyin müxtəlif formalarının və simptomlarının zənginliyi, onun erkən mərhələdə aşkar olunmasını və düzgün müalicə strategiyasının seçilməsini çətinləşdirir. Mövcud tibbi yanaşmalar çox vaxt xəstəliyin fərdi gedişatını və residiv ehtimalını doğru şəkildə təxmin etməkdə kifayət qədər effektiv olmur. Aşağıdakı əsas problemlər qeyd olunmalıdır:

- Simptomların dəyişkənliyi: eyni xəstəlik fərqli xəstələrdə müxtəlif formada özünü göstərə bilər ki, bu da standart diaqnostik protokollarının tətbiqini çətinləşdirir.
- Gec diaqnostika: Xəstələrin çoxu ilkin mərhələdə qeyri-spesifik əlamətlərlə müraciət etdiklərindən diaqnoz qoyulması aylarla, bəzən illərlə gecikir.
- Proqnoz qeyri-dəqiqliyi: DS-un gələcək gedişatını, əlillik dərəcəsinin necə dəyişəcəyinin, remissiyanın müddətini təxmin etmək olduqca çətinidir.
- Radioloji məlumatların subyektiv təhlili: MRT və digər görüntüləmə nəticələrinin qiymətləndirilməsi həkimin təcrübəsindən asılıdır və bu təhlil dəqiq olmalıdır.
- Real vaxtlı qərar dəstəyi sistemlərinin olmaması: Toplanan məlumatları klinik təcrübədə həkimlərin sürətli və dəqiq qərar qəbul etməsini təmin edən texnoloji alətlər hələ geniş tətbiq olunmur.

III. PROBLEMİN HƏLLİ

A. DS-un effektiv diaqnostikası və müalicəsi üçün Sİ əsaslı yanaşmalar

DS-un effektiv diaqnostikası və müalicəsi üçün Sİ əsaslı yanaşmalar mərhələli şəkildə tətbiq oluna bilər.

I mərhələ. Məlumatların toplanması və Strukturlaşdırılması: kliniki nevroloji simptomlar, EDSS balın hesablanması, radioloji göstəricilər (MRT-də lezyon sayı, lokalizasiyası və kontrastlanma göstəriciləri) və xəstəliyin anamnezi (başlanma yaşı, hücumların sayı, remissiya müddəti).

Verilənlərin vahid formaya gətirilməsi üçün onların ilkin emalı həyata keçirilir, istifadəçinin müdaxiləsi ilə bazadakı müxtəlif tipli verilənlər eyni tipə (float) gətirilir.

II mərhələ. Analiz aparmaq üçün vacib göstəricilərin seçilməsi və etikətlənmə: Sİ vasitəsilə verilənlərdən müxtəlif modellərin qurulması üçün lazım olanlar seçilir və analizin istiqaməti təyin olunur.

III mərhələ. Modellərin qurulması və öyrədilməsi:

Recurrent Neural Networks (RNN): Bu model xəstəliyin gedişatında zaman ardıcılığı olan məlumatları təhlil etməyə imkan verir [4]. Xəstənin əvvəlki və indiki göstəricilərinin məlumatları əsasında gələcəkdə əlillik səviyyəsinin artıb artmayacağını proqnozlaşdırmaqla bilər.

Random Forest və XGBoost: Bu ansambl modelləri müxtəlif dəyişənlərin birgə təsirini qiymətləndirməklə xəstəliyin residivləşmə ehtimalını və progressiv formaya keçid riskini yüksək dəqiqliklə müəyyən edə bilər [5, 6].

MindGlide platforması: MRT görüntülərini avtomatik interpretasiyası, lezyonların aşkarlanması və beyin atrofiyasının ölçülməsi sahəsində yüksək sürət və dəqiqliklə nəticələr verir. Sistem 10 saniyədən az müddətdə nəticələri analiz edərək real vaxtlı qərar dəstəyini təmin edir [7, 8].

Kliniki qərar dəstək sistemləri: bu sistemlər pasiyentin klinik və radioloji məlumatlarını təhlil edərək fərdi müalicə sxemləri hazırlayır. Həkimlər üçün relaps riski, alternativ müalicə və dərman seçimləri ilə bağlı qərar verməyə dəstək olur [9].

Biomarker əsaslı modellər (Support vector machines (SVM) və Logistik regression (LM)): Sİ alqoritmləri ilə integrasiya olunan biomarker göstəriciləri (NfL, GFAP, sitokinlər, oliqoklonal bandlar və s.) subklinik dəyişikliklərin aşkarlanmasını təmin edir.

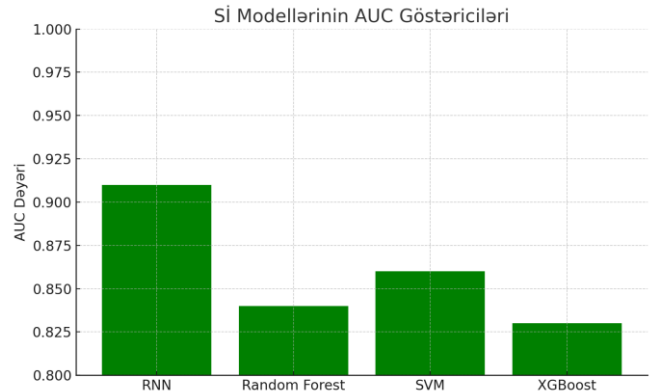
Bu yanaşma erkən diaqnoz və profilaktik müdaxilələr üçün yeni imkanlar yaradır [10,11].

Multimodal analiz: kliniki, radioloji və molekulyar məlumatlarının birlikdə modellərə daxil edilməsi daha dəqiq və etibarlı nəticələrin əldə olunmasını təmin edir. Bu yanaşma individual tibbi qərarların qəbulunu asanlaşdırır [12-14].

B. Müxtəlif Sİ modellərinin müqayisəsi

Yuxarıda qeyd olunan Sİ modellərinin Area Under Curve (AYC) müqayisəsi göstərir ki, RNN modelləri EDSS

proqnozlaşdırılmasında RF modellərini üstələyir (AUC=0.91 qarşı 0.84). Random Forest və SVM modelləri isə güclü proqnostik göstəricilərə malikdirlər (şəkil 1).



Şəkil 1. Sİ modellərinin AUC göstəricilərinin müqayisəsi.

RNN modelləri DS zamanla dəyişən gedişatını (məsələn, EDSS göstəricilərinin artması) təxmin etmədə daha uyğundur, LSTM və GRU variantları ilə uzunmüddətli relaps proqnozunda istifadə ola bilər.

Random Forest modeli statik və ya toplanmış məlumat bazasında (məsələn, kliniki əlamətlər, MRT və biomarker dataları) relaps riskini qiymətləndirə bilər, lakin xəstəliyin zaman üzrə dəyişməsinə modeləşdirə bilmir. Əgər çox dəyişkən və kompleks əlaqəli böyük datasetlər varsa (məsələn, minlərlə klinik dəyişən və biomarker), XGBoost relaps və ya progressiv gedişata keçid riskini daha yaxşı proqnozlaşdırır. Burada problem modelin hiperparametrlərinin düzgün tənzimləmək lazımdır.

MindGlide platforması MRT analizləri sürətli və obyektiv analiz edir, lakin platforma klinik praktikaya tam integrasiya olunmalıdır ki, nəticələr praktik qərarlarla birləşdirilə bilsin. Kliniki qərar dəstək sistemlərinin funksiyası sistemə daxil olan məlumatların doğruluğundan asılıdır və fərdi müalicə planı qurmaqda həkimə yardımçı olur.

Biomarker əsaslı modellərdə isə əsas problem tələb olunan məlumatların əldə edilməsində çətinlikdir və daha bahalı müayinə üsullarının tələb olunmasıdır. Müxtəlif Sİ modellərinin DS xəstəliyin müalicəsində üstünlükləri cədvəldə göstərilmişdir (cədvəl 1).

C. Hibrid modellərin tətbiqi

Hibrid model—iki və ya daha çox fərqli metod və ya alqoritm birləşdirilməsi yolu ilə qurulan bir modeldir. Məqsəd hər bir metodun güclü tərəflərindən istifadə edərək, dəqiqliyi artırmaq, təhlili dərinləşdirmək və məhdudiyyətləri kompensasiya etməkdir. Hibrid modellərin ənənəvi modellərdən bir sıra üstünlükləri var (cədvəl 2).

CƏDVƏL 1. DS ZAMANI Sİ MODELƏRİNİN MÜQAYISƏSİ

Model	İstifadə	Üstünlük	Məhdudiyyət
RNN	DS zamanı gedişatın zamanla proqnozu	Zaman ardıcılıqlarını effektiv modeləşdirir; uzunmüddətli tendensiyaları öyrənir	Uzun təlim vaxtı, çoxlu data tələb edir, overfitting riski
RF	DS proqressiya ehtimalı	Asan interpretasiya olunur, müxtəlif dəyişənlərlə yaxşı işləyir	Zaman ardıcılığın nəzərə alınmır, kompleks dəyişənlər üçün bəzən məhdudiyyət yaradır
XGBoost	DS relaps riski	Yüksək dəqiqlik, çatışmayan məlumatlara qarşı tolerantlıq	Parametr requlyasiyası çətindir, çox böyük data olan zaman daha effektivdir
MindGlide	MRT nəticələrinin avtomatik analizi	Sürətli (10 san), yüksək dəqiqlik	Klinik integrasiyaya ehtiyac, standart protokollara uyğunlaşdırılmalıdır
CDSS	Fərdi müalicə planlarının hazırlanması	İndividual tibbi qərar dəstəyi, alternativ müalicə yolları dəstəyi	Qərarlar daxil olunmuş datanın keyfiyyətindən asılıdır, səhv nəticə riski var
Biomarker əsaslı modellər	Erkən diaqnostika	Subklinik mərhələdə diaqnoz, profilaktik müdaxilə imkanı	Bahalıdır, klinik praktikaya tam integrasiya olunmayıb

CƏDVƏL 2. ƏNƏNƏVİ VƏ HİBRİD MODEL MÜQAYISƏSİ

Model	Ənənəvi	Hibrid
Verilənlər	Bir növ (məsələn sadəcə klinik)	Müxtəlif məlumatlar (klinik, radioloji, molekulyar)
Dəqiqlik	Orta və dəyişkən	Yüksək və stabil
Tətbiq	Məhduddur	Daha praktiki və çevikdir

DS xəstəliydə istifadə oluna biləcək hibrid modellər cədvəldə təsvir olunmuşdur (cədvəl 3).

CƏDVƏL 3. DS ÜÇÜN HİBRİD MODEL NÜMUNƏLƏRİ

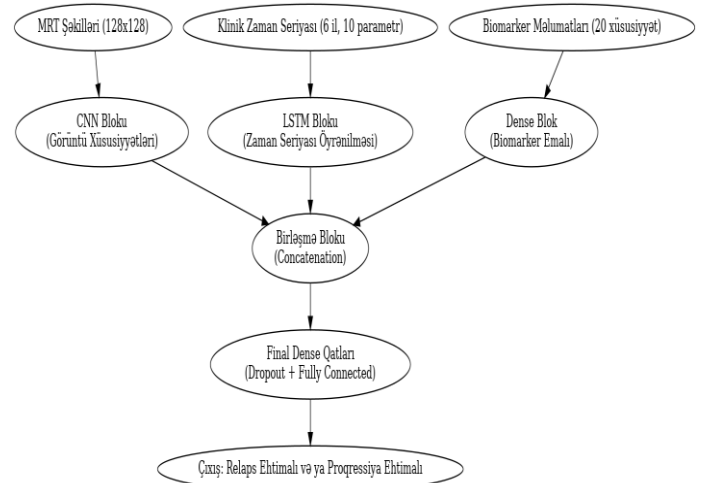
Hibrid model kombinasiyası	İstifadə məqsədi	Təsvir
CNN+RNN	MRT və zaman ardıcılığının birləşməsi	CNN ilə MRT görüntü xüsusiyyətləri çıxarılır, sonra RNN ilə zaman ardıcılığı modeləşdirilir
RF + Biomarker Analizi	Statik kliniki və biomarker əsaslı relaps proqnozu	Biomarker səviyyələri ilə RF relaps riskini qiymətləndirir
XGBoost+ Time-Aware LSTM	Xəstəlik gedişatının zamanla inkişaf proqnozlaşdırılması	XGBoost ilə dəyişənlər seçilir, sonra LSTM ilə zaman seyasi modeləşdirilir
MindGlide+CDSS	MRT və Kliniki qərar dəstəyi	MindGlide görüntü təhlilini edir, CDSS müalicə təkliflərini optimallaşdırır
Multi Modal Fusion Networks	Kliniki+radioloji+ biomarker integrasiyası	Bütün məlumat növləri eyni modeldə birləşdirilir, individual proqnoz və müalicə taktikası müəyyən edilir

D. DS üçün hibrid model hazırlanması

Model 3 əsas hissədən ibarətdir: CNN bloku (MRT görüntülərindən əsas göstəriciləri çıxarır), LSTM bloku (klinik zaman seriyası məlumatını modeləşdirir), XGBoost (dəyişənlər əsasında əlavə proqnoz gücü verir və son nəticə üçün birləşdirir (şəkil 2)).

Modelin üstünlükəri:

- Multimodal təhlil: kliniki, radioloji və molekulyar məlumatların sintezi daha dəqiq nəticələr verir
- Zaman aspekti: LSTM bloku xəstəliyin dinamikasını zamanla izləyir
- Erkən diaqnostika və müdaxilə: Biomarker blokları subklinik dəyişiklikləri vaxtında aşkar etməyə imkan verir
- Fərdi qərar dəstəyi: Model çıxışları fərdi müalicə strategiyalarının qurulmasına kömək edə bilər.



Şəkil 2. Hibrid model arxitekturası.

IV. NƏTİCƏ

Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif Sİ modelləri- RNN, Random Forest, XGBoost, kliniki qərar dəstək sistemləri, MindGlide platforması və biomarker əsaslı modellər müqayisə edimişdir. Alınan nəticə:

- RNN modelləri, xüsusilə LSTM və GRU strukturları, xəstəliyin uzunmüddətli zamanla dəyişənləri əsasında əlillik səviyyəsinin dəyişilməsini (məsələn EDSS ballarının artımını) proqnozlaşdırmada yüksək performans (AUC=0.91) nümayiş etdirir. Bu da xəstəliyin zamanla dəyişən gedişatının daha dəqiq öyrənilməsində RNN modellərinin üstünlüyünü təsdiq edir

- RF və XGBoost modelləri relaps ehtimalını və xəstəliyin proqressiv formaya keçid riskinin qiymətləndirilməsində effektivdir. RF modeli müxtəlif dəyişənlərin birgə təsirini asanlıqla modeləşdirə bilir. XGBoost isə böyük və kompleks

dataseti idarə etməkdə yüksək dəqiqlik və optimallaşdırma bacarığı göstərir.

- MindGlide platforması MRTməlumatlarının sürətli (10 san az) və obyektiv təhlilini təmin edərək kliniki qərarların daha sürətli və dəqiq qəbuluna imkan yaradır.

- Kliniki qərar dəstək sistemləri fərdi xəstə məlumatları əsasında müalicə strategiyalarının formalaşdırılmasında mühüm rol oynayır.

- Biomarker əsaslı modellər (NfL, GFAP, oliqoklonal bandlar və digər molekulyar markerlər əsasında) sublinik dəyişikliklərin aşkarlanmasında və erkən diaqnostikanda əvəzolunmaz imkanlar təqdim edir.

Tədqiqat həmçinin göstərdi ki, multimodal analiz yanaşmaları-hibrid modellər –DS xəstəliyinin daha etibarlı və dəqiq proqnozlaşdırılması üçün effektiv yanaşmadır. Bu üsul fərdi səviyyədə xəstəlik gedişatını optimallaşdırılması və individual tibbi qərarların qəbulunu əhəmiyyətli dərəcədə asanlaşdırır.

Əldə olunan nəticələr əsasında təklif olunan CNN+LSTM+XGBoost əsaslı hibrid model arxitekturası DS xəstəliyi diaqnozu və proqnozu üçün yeni bir mərhələ təşkil edə bilər.

Nəticədə, deyə bilərik ki, Sİ və hibrid modellərinə əsaslanan yanaşmalar DS xəstəliyinin idarə olunmasında yeni bir dövrün başlanğıcıdır.

Gələcəkdə daha böyük və multimodal datasetlər üzərində aparılan tədqiqatlar, modellərin klinik praktikaya effektiv integrasiyası və səhvlərə tolerant sistemlərin yaradılması bu sahənin inkişafı üçün əsas istiqamətlər olacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

- [1] A. W. Wingerchuk and B. G. Weinshenker, "Multiple sclerosis: epidemiology, genetics, classification, natural history, and clinical outcome measures," *Neuroimaging Clinics of North America*, vol. 18, no. 4, pp. 585–596, 2008.
- [2] L. Rocca, M. Battaglini, G. Benedict et al., "Brain MRI atrophy quantification in MS: From methods to clinical application," *Neurology*, vol. 95, no. 8, pp. 336–348, 2020.
- [3] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997.
- [4] M. Eitel, L. Soehler, and B. Ploner, "Artificial intelligence in multiple sclerosis research: a systematic review," *Multiple Sclerosis Journal*, vol. 27, no. 6, pp. 795–813, 2021.
- [5] L. Breiman, "Random Forests," *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [6] T. Chen and C. Guestrin, "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System," in *Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining*, San Francisco, CA, USA, 2016, pp. 785–794.
- [7] D. Valverde, A. Oliver, and X. Llado, "Medical imaging in multiple sclerosis: Advances and machine learning applications," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 15, p. 755012, 2021.
- [8] M. Fartaria, A. Bonnier, R. Meuli, "Automated detection of multiple sclerosis lesions using convolutional neural networks with multi-sequence MRI," *NeuroImage: Clinical*, vol. 17, pp. 511–518, 2018.
- [9] A. Kuceyeski, B. Monohan, and A. Gauthier, "Applications of machine learning to the analysis of multiple sclerosis clinical data," *Frontiers in Neurology*, vol. 11, p. 620, 2020.
- [10] D. Bzdok and A. Meyer-Lindenberg, "Machine learning for precision psychiatry: Opportunities and challenges," *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, vol. 3, no. 3, pp. 223–230, 2018.
- [11] A. Z. Brain, "Biomarkers in Multiple Sclerosis: Current Status and Future Prospects," *Frontiers in Neurology*, vol. 10, p. 1230, 2019.
- [12] H. R. Cross and A. L. Salter, "Artificial intelligence for multiple sclerosis management," *Multiple Sclerosis Journal*, vol. 27, no. 5, pp. 581–588, 2021.
- [13] E. Louapre, M. Edan, and B. Bodini, "Artificial intelligence in the diagnosis and prognosis of multiple sclerosis: Current status and future perspectives," *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, vol. 65, p. 104004, 2022.
- [14] Y. Zhang, J. Wang, and W. Wu, "Hybrid deep learning models for early prediction of multiple sclerosis progression," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 125634–125646, 2022.

Tibbi İnformasiya Sistemində Süni İntellektin Rolu

Nəzakət Qurbanova¹, Zaur Hacıyev², Qumru Abdullayeva³

Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹kurbanovang@hotmail.com, ²haciyevza@gmail.com, ³g.abdullayeva.amu@gmail.com

Xülasə– Azərbaycan Respublikasında “Elektron hökumət”in formalaşmasını təmin etmək məqsədilə səhiyyənin rəqəmsallaşdırılması xüsusi önəm daşıyır. Vahid tibbi informasiya sisteminin realizə edilməsi, tibbi müəssisələrin və apteklərin pasiyentlərə xidmət göstərməsində məlumat idarəetməsini və infrastrukturunu təkmilləşdirir. Tibbi informasiya sistemində bir çox modullar həm avtonom, həm də müştərək formada işləyir. Tibbi informasiya sisteminin aktual modullarından biri poliklinika informasiya sistemidir. Bundan əlavə Azərbaycan Səhiyyə Nazirliyinin İctimai Səhiyyə və İslahatlar Mərkəzi tərəfindən bir sıra mobil tətbiqlər hazırlanmışdır ki, bunlardan da biri “Elektron resept”dir. Mobil tətbiqlər vasitəsilə bulud texnologiyasından, çat-bot texnologiyasından istifadə daha səmərəli imkanlar yaradır. Bunlar verilənlərin əldə olunması, biliklər bazalarının effektivliyini artırılması və s.-dir.

Açar sözlər– süni intellekt; aptek informasiya sistemləri; elektron sənəd; elektron resept; mobil tibbi tətbiq; məlumatlar bazası.

I.GİRİŞ

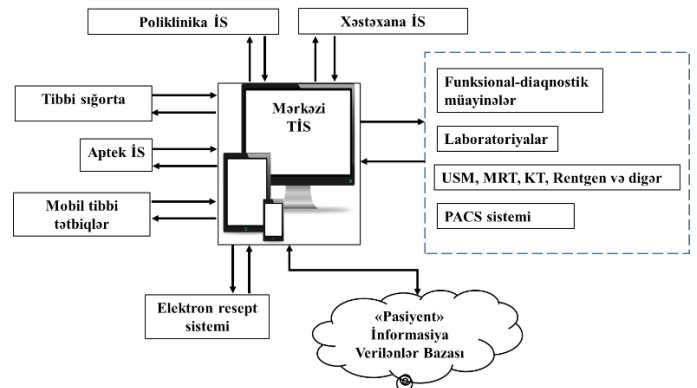
Süni intellektin dövlət idarəçiliyi, iqtisadi, sosial, təhsil, səhiyyə, müdafiə, təhlükəsizlik və digər sahələrə ciddi dəyişikliklər gətirəcəyi, eləcə də bununla bağlı yaranacaq çağırışlar və təhdidlər nəzərə alınaraq Azərbaycan Respublikasının 2025-2028-ci illər üzrə milli strategiyası hazırlanmışdır. Bu strategiyaya əsasən, süni intellektin təsirini artırmaq və resurslardan daha səmərəli istifadəni təmin etmək üçün kənd təsərrüfatı, səhiyyə, nəqliyyat, təhsil və digərləri prioritet sektorlar kimi müəyyən edilmişdir [1].

Azərbaycan Respublikasında dövlət idarəçiliyində operativliyin və səmərəliliyin artırılması məqsədilə “Elektron hökumət”in formalaşması artıq təmin olunmuş, həmçinin dövlət orqanlarının (qurumlarının) informasiya sistemləri və ehtiyatları vasitəsilə təqdim edilən elektron xidmətlərdən geniş istifadə edilməkdədir.

II. TİBBİ İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİ (TİS)

Səhiyyənin rəqəmsallaşdırılması həkimə və xəstəyə yardım üçün məlumatların vahid tibbi informasiya sistemində (TİS) birləşdirilməsi məqsədini daşıyır.

Əsas məqsəd respublika üzrə tibbi müəssisələrin və apteklərin pasiyentlərə xidmət göstərməsində məlumat idarəetməsinin və infrastrukturunun təkmilləşdirilməsidir. Tibbi informasiya sisteminin realizə edilməsi bir çox modulların həm avtonom, həm ayrılıqda, həm də müştərək formada işləməsindən ibarətdir (şəkil 1).



Şəkil 1. Tibbi informasiya sisteminin konseptual sxemi

Tibbi informasiya sistemi xəstə haqqında məlumatlardan təşkil olunmuş, həkimə yönəldə biləcək informasiya bazasına (diaqnoz, məsləhət vermək, müalicə taktikası, proqnoz) əsaslanır. Təklif olunan informasiya sistemi uyğun modullardan alınmış verilənlər axını ilə kifayət qədər böyük məlumat toplayır, həmçinin sənədlər, multimedia faylları, istifadəçilər, xəstələr, həkimlər və aktiv verilənlərin strukturunda dəyişikliklər və lazımi sənədlər haqqında informasiyanı yadda saxlayır. Tibbi informasiya sistemi bir neçə tətbiqlərdən ibarətdir, onların hər biri avtonom modul şəklində müəyyən funksiyaları yerinə yetirir. Əsas modullardan biri mətn tipli informasiya, və həmçinin əyani təsvirlərlə verilmiş xəstəlik kartıdır. Digər modulların işi bir-biri ilə əlaqəli şəkildə həyata keçirilir.

Mərkəzləşdirilmiş TİS-in yaradılmasının üstünlükləri:

1. Pasiyentlər və həkimlər haqqında verilənlərin mərkəzləşdirilmiş formada saxlanması;
2. Multimedia verilənlərinin mərkəzləşdirilmiş formada saxlanması;
3. Məlumat bazalarına çıxışın təmin edilməsi – tibbi tədqiqat institutları, tibbi müəssisələrin və digər qurumların tədqiqatçıları və mütəxəssisləri üçün yüksək texnologiyalar sahəsində fəaliyyətlərini daha da səmərəli olması;
4. Məlumatların məxfiliyinin və təhlükəsizliyinin təmin edilməsi;
5. İctimaiyyətin tibdə süni intellektin tətbiqi ilə bağlı potensial risklər və onların idarə edilməsi barədə məlumatlandırılması;
6. Süni intellekt sahəsində fəaliyyət göstərən şirkətlərin dəstəklənməsi – bu sahədə fəaliyyət göstərən yerli

şirkətlərin sayının artırılması üçün stimullaşdırıcı tədbirlərin həyata keçirilməsi;

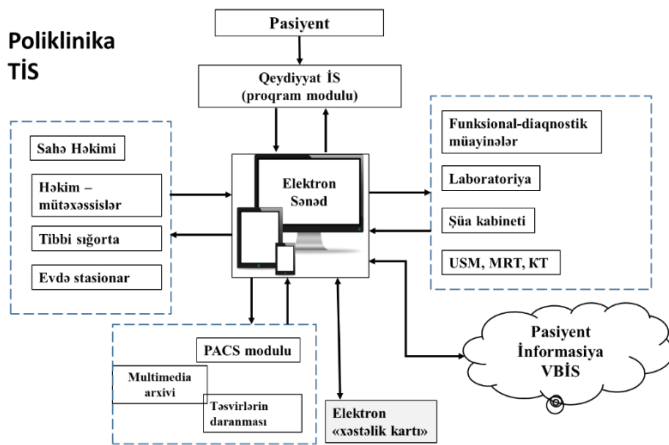
7. Süni intellektin müxtəlif sahələrdə tətbiqi üçün dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlıq mexanizmlərinin yaradılması və inkişaf etdirilməsi.

Tibbi informasiya sistemi açıq struktura malik olmaqla, müasir texnologiyaların tətbiqinə imkan verir. Bu texnologiyalardan, xüsusilə süni intellektə əsaslanan qərar qəbul etmə maşınının tətbiqi ilə strukturlaşdırılmış və strukturlaşdırılmamış informasiyanın əldə olunması, onun təhlili, nəticə çıxarılması üçün mühüm rol oynayır. Süni intellekt metodlarının tətbiqi aspektlərinə aid etmək olar:

- daxil olan sorgulara görə neyron şəbəkələri əsasında verilənlər bazasından məlumatların əldə olunması;
- Çat-bot texnologiyasının geniş tətbiqi (Azərbaycan dilində təbii dil emalının inkişaf etdirilməsi);
- Çat-bot vasitəsilə pasiyentin hazırkı durumunu öyrənmək məqsədilə beynəlxalq qəbul olunmuş tibbi sorğu-anketləri bazasında sorğuların hazırlanması;
- teletəbabət (xüsusilə hərbi məqsədlər üçün);
- məlumatların real vaxt rejimində mübadiləsi və emalında bulud hesablama resurslarından və “Əşyaların interneti”ndən istifadə olunması;
- «Rəqəmsal əkiz» platformasına hazırlıq.

III. POLIKLINIKA INFORMASIYA SİSTEMLƏRİ

Tibbi informasiya sisteminin hazırda aktualıq kəsb edən modullarından biri poliklinika informasiya sistemidir. Təklif edilən poliklinika informasiya sistemi kiçik tibb müəssisəsi, poliklinika daxilində tibbi məsələlərin həllində nəzərdə tutulmuş modullu informasiya sistemidir (şəkil 2).



Şəkil 2. Poliklinika informasiya sisteminin arxitekturası.

Poliklinika tibbi informasiya sisteminin mərkəzində “Elektron sənəd” modulu durur. O, nəzərdə tutulduğu kimi, bütün istifadəçilər üçün sənədlər yaradır. Bu modul prioritetə əsasən iş yerlərinin qurucusu kimi fəaliyyət göstərir. Məsələn, “Elektron sənəd” moduluna müraciət “Qeydiyyat”dan gəlsə, xəstənin qeydiyyatı alınması və ya təkrar müraciəti üçün lazım olan sorğu vərəqi verilir. Bura pasiyentin pasport məlumatları,

digər məlumatlar daxil edilir və ona sahə həkiminə göndəriş verilir. Əgər sorğu həkimdən gəlsə, o zaman həkimin ixtisasına uyğun sorğu vərəqindən istifadə edilir. Bu sorğu vərəqlərinin yaradılması XBT-yə uyğun olaraq, xəstəliklərin diaqnostikası və müalicəsinin beynəlxalq protokollarına əsaslanmalıdır. Sorguların strukturu həkim-ekspertlər tərəfindən müəyyənləşdirilir və onlar təkmilləşdiriləndirilir. Beləliklə, sorguların ağaca bənzər strukturu qurulmuş olur ki, onlardan əvvəlcədən müəyyən edilmiş prioritetə uyğun olaraq tibb müəssisəsinin hər bir mütəxəssisi üçün sorğu sahifəsinin şablonu formalaşdırılır.

Laboratoriyalar və funksional diaqnostika kabinetləri üçün öz doldurulma şablonları hazırlanır. Sistemdə əsas “müşəri” sahə həkimidir. Məhz o, xəstənin sonrakı digər həkim-mütəxəssislərə göndərişlərini istiqamətləndirir və təşkil edir. Əgər diaqnoz qoyulubsa və başqa bir həkim-mütəxəssis müalicəyə başlayırsa, onda o müalicə prosesində sistemin əsas “müşəri”sinə çevrilir. Yəni müalicəni tibbi sığorta ilə təşkil etməyə yönəldən, xəstənin müalicəsi zamanı və müalicədən sonrakı uzunmüddətli nəticələrini öyrənmək üçün istiqamətlənən odur. Xəstəyə aid olan bütün informasiyanın əldə edilməsi hüququ ona verilir [2].

Veb formanın yaradılması müxtəlif müayinə formalarının - ultrasəs, rentgen, KT, MRT xərclərindən azad olmaq üçün elektron kartı İnternet üzərindən ixtisaslaşmış tibb müəssisələrinin digər həkimlərinə ötürməyə imkan verir. Bu forma həm də xarici multimedia daşıyıcılarında (CD, DVD, USB disklər) saxlanıla bilər.

Elektron xəstəlik kartı modulu seçilmiş sahələrdən istifadə olunaraq elektron kartın veb formasını yaratmağa imkan verir. Hər bir istifadəçi öz prioritetinə görə sahələri seçə bilər, yəni personalın çoxsəviyyəli giriş icazələri var. Məsələn, əgər iştirak edən həkim xəstəni başqa ixtisaslaşmış tibb müəssisəsinə göndərsə, o zaman lazımi məlumatlardan (laboratoriya analizi, funksional otaqların müayinəsi və s.) veb-forma yarada, onu e-poçtla göndərə bilər, buludda baxmağa icazə verər və s. Tibbi sığortaya uyğun xidmətlər sistem tərəfindən müəyyən edilir və xəstəyə göstərilir [3].

Şəkillər, videolarla işləmək üçün son vaxtlar multimedia vasitələri ilə təchiz edilmiş informasiya sistemləri sahəsində tədqiqatlar xüsusilə qiymətlidir. Onlardan biri müxtəlif diaqnostik məlumatların (şəkillər, hesabatlar, videolar və s.) yüksək sürətli etibarlı arxivini yaratmaq üçün nəzərdə tutulmuş PACS sistemləridir (Şəkil Arxivləşdirmə və Kommunikasiya Sistemi).

Bir sıra tibb müəssisələrində bir neçə diaqnostika cihazını, fərdi kompüterləri, iş stansiyalarını, video arxivləri və rəqəmsal təsvirləri yerli daxili şəbəkədə təqdim etmək vasitələrini birləşdirən vasitələr geniş yayılmışdır. Tibbi məlumatların ötürülməsi üçün digər vacib standart DICOM-dur (Tibbdə Rəqəmsal Görüntü və Əlaqə). Bu standart tibbi təsvirlərin - rentgen, ultrasəs, maqnit rezonans, radionuklid, endoskopik və s. (ümumilikdə 29 növ təsvir) kompüterlər arasında ötürülməsi üçün nəzərdə tutulub.

Bu standart eyni tibb müəssisəsində yerləşən müxtəlif diaqnostik cihazlar, fərdi kompüterlər və iş stansiyaları, arxiv serverləri, meynfreymilər və digər kompüter cihazları arasında

rəqəmsal əlaqəni təşkil etməyə imkan verir. O, həmçinin açıq qlobal şəbəkələr sistemi vasitəsilə bir şəhərdə və ya bir neçə şəhər arasında məlumat mübadiləsinə kömək edir.

Həmçinin, rəqəmsal arxivlər istehlak materiallarına (kino və kimyəvi maddələr), eləcə də böyük yanğın təhlükəsi olan kinoarxivlərin saxlanması sərəf olunan vəsaitlərə əhəmiyyətli qənaəətə gətirib çıxarır [4].

Quraşdırılmış sistemdə, zəruri hallarda, şəkillərlə işləmək üçün PACS-ə daxil olmaq imkanı təmin edilir, yəni qəbul etmək, ötürmək, redaktə etmək, arxivləşdirmək. Multimedia alətləri zədəni, prosesin dinamikasını, bərpa mərhələlərini və s.-ni vizual olaraq görməyə imkan verir. Funksional diaqnostik şəkillərin xəstəlik kartına daxil edilməsi xəstəliyin və sağlamanın dinamikasını izləməyə imkan verir. Beləliklə, ilkin diaqnozdan sonra təkrar müalicə ilə funksional diaqnostik cihazlarla əldə edilən əvvəlki görüntüləri müqayisə etmək mümkündür.

“Qeydiyyat” proqram modulu qeydiyyatdan keçməyə, xəstəni qəbul etməyə, həkim qəbuluna yazılmağa (həkim qəbulu cədvəlinin təşkili), həmçinin kartlar üzrə statistik təhlillərin aparılmasına imkan verir. Həkimin əldə olunmuş şəkilləri və video faylları xəstənin elektron sənədinə əlavə etmək imkanı var ki, bu da vizual müayinələr üçün vacibdir. Qlobal pandemiyanın hökm sürdüyü müasir dünyada bu, xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Birbaşa müayinə ilə həkim xəstəni ziyarət edərkən risk altındadır.

Sistemə tibbi sığorta xidmətlərinin müəyyən edilməsi üçün nəzərdə tutulmuş tibbi sığorta modulu da daxildir. Tibbi sığortaya uyğun xidmətlər sistem tərəfindən müəyyən edilir və xəstəyə göstərilir.

Poliklinikada informasiya sisteminin qurulması prinsipi sadəlik, operativlik, təhlükəsizlik, mütəxəssis həkimlərdən məsləhət almaq imkanı, multimedia vasitələrindən istifadə, lazım gəldikdə şəbəkədə təsvirlərlə işləmək üçün tanınmış sistemlərə qoşulmaqdır.

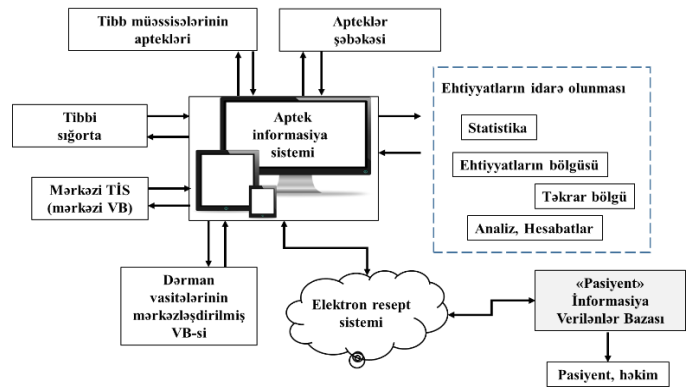
IV. APTEK İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİ

Tibbi informasiya sisteminin əsas modullarından biri kimi aptek informasiya sistemini də göstərmək olar (şəkil 3).

Azərbaycanda elektron resept sisteminə keçid ilk dəfə 2023-cü ildə Narkoloji dispanserdə pilot layihə kimi həyata keçirilmişdir. Bu, əhaliyə rəqəmsal formatda xidmət göstərməyə yönəlmişdir. Bu cür xidmət dərmanların satışı və paylanması şəffaflığın təmin edilməsi, bu və ya digər xəstəliklər üçün terapiyanın müşahidə edilməsi, dərmanların apteklərdən nəzarətsiz buraxılmasını istisna etmək üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bu baxımdan elektron reseptlərin geniş tətbiq edilməsi və dərman ehtiyatlarının idarə olunması məqsədilə TİS-in tərkibinə aptek sistemi daxil edilmişdir. Azərbaycanda bir sıra aptek şirkətləri, həmçinin ixtisaslaşdırılmış və ümumi klinikaların aptekləri fəaliyyət göstərir. Bu apteklər üzrə tibbi vasitələrin mərkəzləşdirilmiş axtarışı üçün lokal məlumat bazalarının konsolidasiyası məqsəduyğundur.

Aptek informasiya sisteminin əsasını, poliklinika, stasionar və aptek məntəqələrini əhatə edən elektron resept sistemi təşkil edir.



Şəkil 3. Aptek informasiya sisteminin arxitekturası.

Aptek informasiya sistemi tibbi müəssisələr və apteklər arasında informasiya axınıni sinxronlaşdıraraq dərman vasitələrinin hərəkətinin monitorinqini aparmağa imkan verir. Dərman vasitəsi üçün elektron reseptin yazılması həkim, pasiyent və farmasevtlər arasında müştərək əlaqə prosesini sadələşdirir.

Xüsusilə, xroniki xəstələr üçün distansion formatda elektron reseptin əldə olunması çox mühüm və rahatdır. Belə ki, onlara lazım olan dərman preparatına resept üçün hər dəfə həkimə müraciət etmək məcburiyyətindən azad olurlar, yalnız mütləq müayinələrdən keçməyə cəlb olunurlar.

Aptek informasiya sistemi dərman vasitələrinin ehtiyatlarının idarə olunmasında çoxfaktorlu məsələlərin həllini asanlaşdırır. Bu faktorlara mövsümlilik, xəstələrin yerdəyişməsi, pandemiya (statistikaya görə ehtiyatların proqnozlaşdırılması, ayrı-ayrı dərmanların satışında kəskin artımın baş verməsi), xroniki xəstələr (dərmanların daimi istifadəsi, statistika), dərman çatışmazlığı dövrü (statistika, ehtiyatların proqnozlaşdırılması - satınalma vaxtı) kimi məsələləri aid etmək olar.

Aptek informasiya sistemi tibbi preparatların qeydiyyatı və idarə olunması üçün yeganə reyestrin yaradılmasına imkan verir. Bu reyestr vasitəsilə vətəndaşlar öz tibbi verilənləri ilə “Rəqəmsal əkiz” sisteminə integrasiya oluna bilər [5]. Aptek informasiya sistemi tibbi xidmətin keyfiyyətini artırılması yolunda mühüm təşəbbüslərdən biri kimi səhiyyənin rəqəmsal formata transformasiyası mərhələsində mühüm əhəmiyyətə malikdir.

Tibbi informasiya sisteminin modullarından biri də mobil tibbi tətbiqlərdir. Mobil texnologiyaların inkişafı və smartfonların mövcudluğu ilə tibbi mobil tətbiqlər sağlamlığı yaxşılaşdırmaq, diaqnoz qoymaq, tibbi şəraiti izləmək və idarə etmək üçün geniş imkanlar təklif edir [6].

Azərbaycan Səhiyyə Nazirliyinin İctimai Səhiyyə və İslahatlar Mərkəzi bir sıra mobil tətbiqlər hazırlayıb - Sağlam Qidalanma, “Şəkərli diabet”, “Ürəyinizi qoruyun”, “Palliativ

baxım”, “Burla Xatun”, İlk Tibbi Yardım, VideoDoctor, “Elektron resept” və s.

Mobil əlavələrin səviyyəsinin dəyişməsilə, respublikada səhiyyənin rəqəmsallaşdırılmasının bugünkü uğurları haqqında nəticə çıxarmaq olar. Məsələn, “Elektron resept” mərkəzləşdirilmiş dövlət məlumat bazasından istifadə edilməsi səhiyyənin rəqəmsallaşdırılmasının yeni mərhələsidir[7].

Mobil tətbiqlər vasitəsilə bulud texnologiyasından, çat-bot texnologiyasından istifadə olunması daha səmərəli imkanlar yaradır. Məhz mobil tətbiqlər verilənlərin əldə olunmasında, biliklər bazalarının effektivliyinin artırılmasında özlərinin danılmaz rolunu oynacaqdır. Pasiyentlər haqqında toplanmış, sistemlənmiş verilənlər “rəqəmsal əkizlər” texnologiyasına yol açır.

V. NƏTİCƏ

Beləliklə, TİS-in tərkibinə daxil edilmiş hər bir modul əhaliyə tibbi xidmətlərin göstərilməsində, dərman vasitələrilə ilə təminatında, onların ehtiyatının idarə olunmasında, fəvqəladə vəziyyətlərdə qərarların qəbulunda, nəticələrin əldə

edilməsində və bunların həyata keçirilməsi üçün tibbdə yüksək texnologiyaların, süni intellektin inkişafı və tətbiqi üçün imkanlar yaradır.

İSTİNADLAR

- [1] Azərbaycan Respublikasının 2025-2026-cı illər üçün süni intellekt strategiyası. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2025-ci il 19 mart tarixli Sərəncamı ilə təsdiq edilmişdir.
- [2] Katsoulakis E., Wang Q., Wu H., Shahriyari L. etc. Digital twins for health: a scoping review // npj Digital Medicine, 2024, 7:77 (<https://doi.org/10.1038/s41746-024-01073-0>)
- [3] <https://isim.az/ru/pages/46>
- [4] <https://reseptim.az>
- [5] Зуенкова Ю.А. Опыт и перспективы применения цифровых двойников в общественном здравоохранении // Менеджер здравоохранения, 2022, № 6, с. 69-77
- [6] Кудратиллаев М.Б. Мобильные медицинские приложения: значение в жизни человека и их особенности, обзор существующих приложений // "Science and Education" Scientific Journal, May 2023, Volume 4 Issue 5, p.803-811
- [7] Kernebeck S., Busse T., Böttcher M. et al. Impact of mobile health and medical applications on clinical practice in gastroenterology // World J Gastroenterol., 2020, 26 (29), p. 4182-4197

Patoloji Proseslərin Proqnozlaşdırılmasında və Diaqnostikasında Bayes Formulunun Tətbiqi Haqqında

Qorxmaz Əfəndiyev

ETN İdarəetmə Sistemləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
g.afandiyev@mail.ru

Xülasə—Məlumdur ki, patoloji proseslərin proqnozlaşdırılmasında xəstəliklərin diaqnozunu və müalicəsini optimallaşdırmaq məqsədilə riyazi vasitələrin və texnologiyaların tətbiqi kifayət qədər əhəmiyyətli istiqamətdir. Hazırda təbabətdə müxtəlif patoloji halların baş verməsini və gedişatını proqnozlaşdırmaq məqsədi ilə müxtəlif ehtimal-statistik metodlardan istifadə edilir. Bu metodlar, müxtəlif xəstəliklərin proqnozlaşdırılmasında həkimlərə və tibbi mütəxəssislərə düzgün qərarlar qəbul etməyə kömək edir. Statistik modellər, həmçinin xəstələrə daha individual yanaşmağa və sağ qalma şanslarını artırmağa imkan verir. Məqalədə tibbi patoloji proseslərin proqnozlaşdırılmasında Bayes formulunun tətbiqinə baxılır. Bu metodun üstün cəhətləri göstərilir, proqnostik modelin tətbiqinin metodikası və algoritmi verilir. Həmçinin, Bayes formulunun tətbiqinə dair real nümunəyə baxılır.

Açar sözlər— patoloji proseslər, proqnozlaşdırma, Bayes formulu, ehtimal-statistik metodlar.

I. GİRİŞ

Klinik praktikada proqnozlaşdırmanın əhəmiyyəti müasir tibbin əsas vəzifələri hesab olunan xəstəliklərin qarşısının alınması və xəstələrin müalicəsi ilə müəyyən edilir [1]. Buna görə də, tibbi proqnozlaşdırmada iki hala – xəstəliyin baş vermə ehtimalının və xəstəliyin inkişafının, yəni ağırlaşmaların və ya xəstənin sağalma ehtimalının qiymətləndirilməsinə baxılır.

Birinci halda ətraf mühitin müxtəlif amillərinin, əmək, istehsal və sosial-iqtisadi proseslərin, yaşayış şəraitinin, zərərli vərdişlərin, irsiyyətin insan sağlamlığına təsirinin ehtimalı qiymətləndirilərək, profilaktik tədbirləri planlaşdırılır.

İkinci halda xəstələrdə patoloji simptomların, müxtəlif xəstəliklərdə və patoloji proseslərdə orqan və sistemlərin fəaliyyət nümunələrinin təhlilinə əsaslanaraq müalicə tədbirləri planlaşdırılır.

Proqnozlaşdırma zamanı məsələnin bir neçə həlli olur və həkim bütün mümkün ssenariləri qabaqcadan görməli, xəstənin vəziyyətinin necə dəyişə biləcəyini müəyyən etməlidir. Məsələn, müalicə aparılmazsa, bu və ya digər terapiya üsullarından istifadə edilərsə, dərman oxşarı ilə əvəz olunarsa və s. hallarda sağalma və yaxud ağırlaşmanın necə olacağını, riyazi dillə desək, ehtimalını bilmək vacibdir. Hər bir konkret vəziyyətdə xəstənin ümumi vəziyyəti, yaş

xüsusiyyətləri, yanaşı xəstəlikləri, irsi amilləri, pis vərdişləri, yaşayış şəraiti və digər amillər, başqa sözlə, bütün risk faktorları nəzərə alınmalıdır. Klinik praktikada hər bir konkret xəstə ilə bağlı ortaya çıxan bütün sualları sadalamaq, hər bir konkret vəziyyətdə xəstəliyin gedişatını müəyyən edən bütün amilləri nəzərə almaq daha çətindir. Həkim müxtəlif həllər arasından hər bir fərdi hal üçün nəticələrlə bağlı proqnoza əsaslanaraq ən uyğun variantı seçməlidir.

II. BAYES FORMULUNUN TƏTBİQİ

Proqnozlaşdırma məsələlərində kifayət qədər müxtəlif spektri (süni intellekt, iqtisadi, maliyyə, mühəndislik, kriminalistika, psixologiya, marketing, biznes, kosmik tədqiqatlar) əhatə edən [2-4], geniş şəkildə tətbiq edilən, lakin tibbi araşdırmalarda nadir hallarda istifadə olunan Bayes statistikasına (Bayesian statistics) baxaq.

Məlumdur ki, ehtimal nəzəriyyəsində Bayes düsturu aşağıdakı kimidir [5, 6]:

$$P(A_k / B) = \frac{P(A_k)P(B / A_k)}{\sum_i P(A_i)P(B / A_i)} \quad (1)$$

Burada:

$P(A_k)$ – A_k hipotezinin aprior ehtimalı,

$P(A_k/B)$ – A_k hipotezinin B hadisəsi baş verməsi şərti ilə aposterior ehtimalı,

$P(B/A_i)$ – A_i hipotezi doğru olduqda B hadisəsinin baş verməsi ehtimalıdır.

Bayes düsturunu patoloji proseslərin proqnozlaşdırılmasında tətbiq edək.

Fərz edk ki, aşağıdakı mümkün xəstəliklərdən birini seçmək lazımdır:

$$A_1, A_2, \dots, A_k, \dots, A_l$$

Burada:

k – xəstəliyin nömrəsi,

l – mümkün xəstəliklərin ümumi sayıdır.

Eyni zamanda:

$$\sum_{k=1}^l A_k = 1$$

Xəstəliyi müəyyən etmək üçün aşağıdakı asılı olmayan simptomlara (əlamətlərə) baxacağıq:

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_r$$

Burada:

j – simptomun nömrəsi,

r – simptomların ümumi sayıdır.

Hər bir simptom məhdud sayda qiymətlər və ya dərəcələr ala bilər. x_j simptomunun mümkün variantlarını x_j^i kimi işarə etsək, bu qiymətləri

$$x_j^1, x_j^2, \dots, x_j^i, \dots, x_j^m$$

kimi nömrələyə bilirik. Burada:

i – j simptomunun nömrəsi,

m – j simptomunun qiymətlərinin maksimal sayıdır.

Yuxarıda göstərdiyimiz işarələmələri (1) düsturunda nəzərə alsaq, Bayes düsturunu aşağıdakı kimi yazı bilirik:

$$P(A_k / x_j^i) = \frac{P(A_k)P(x_j^i / A_k)}{\sum_k P(A_k)P(x_j^i / A_k)} \quad (2)$$

Burada:

$P(A_k)$ – A_k xəstəliyinin aprior ehtimalı, $k=1,2,\dots,l$;
 $\sum P(A_k) = 1$;

$P(x_j^i / A_k)$ – x_j simptomunun A_k xəstəliyi zamanı müşahidə edilən x_j^i dərəcələrinin aprior ehtimalı,

$P(A_k / x_j^i)$ – x_j simptomunun x_j^i dərəcələri müşahidə edilən zaman A_k xəstəliyinin aposterior ehtimalıdır.

(2) düsturu Bayes statistikasının digər proqnozlaşdırma metodlarından üstünlüyünü aşkar şəkildə ifadə edir. Belə ki, Bayes statistikasını tədqiqatçılara əvvəlki bilikləri nəzərə almağa və müşahidə edilən empirik məlumatlar əsasında baş verəcək xəstəlik, ağırlaşma və ya sağalma haqqında daha dəqiq qərar qəbul etməyə imkan verir. Bu metodun daha bir üstünlüyü məhdud sayda daha çox amilin nəzərə alınmasının mümkünlüyüdür.

Uzun müddətli müşahidələrlə toplanan məlumatlar əsasında hər-hansı patoloji prosesin rastgəlmə tezliyi, həmçinin, bu patoloji proses zamanı müəyyən edilən simptomlar və onların dərəcələrinin rastgəlmə tezlikləri (aprior ehtimallar) əvvəlcədən məlum olur. Konkret xəstədə həmin simptomların olub-olmamasından və onların dərəcələrindən (və ya qiymətlərindən) asılı olaraq Bayes düsturu vasitəsi ilə hər bir xəstə üçün ağırlaşma və ya

sağlamanın ehtimalını hesablamaq və müvafiq qərar qəbul etmək mümkündür.

Məlum olduğu kimi, hər-hansı bir patoloji prosesin baş verməsində müəyyən etioloji amillər mühüm rol oynayır ki, bunlar da həmin patologiyanın risk faktorları adlanır. Bu faktorların tədqiq edilən patologiyanın inkişafında rolunu, yerini və xüsusi çəkisini bilmədən baş verə biləcək patoloji prosesin proqnozlaşdırılması mümkün deyil.

Beləliklə, hər-hansı patoloji halın və ya sağlamanın Bayes düsturu vasitəsi ilə proqnozlaşdırılması aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilə bilər.

1. Retrospektiv məlumatlara əsasən patoloji hal zamanı müşahidə edilən bütün simptomlar qeyd edilir.

2. Həmin simptomlar arasından patoloji hala əyənmiyyətli dərəcədə təsir edənləri, başqa sözlə, risk faktorları müəyyən edilir. Bu zaman digər ehtimal-statistik metodlardan, xüsusilə Pirsnonun χ^2 (xi-kvadrat) meyarından istifadə edilir.

3. Empirik məlumatlara əsasən konkret hallarda hər bir risk faktorunun rastgəlmə tezlikləri, yəni aprior ehtimalları hesablanır.

4. Alınmış nəticələrə əsasən proqnostik cədvəl tərtib edilir (cədvəl 1).

5. Cədvəldəki qiymətlər (2) düsturunda nəzərə alınmaqla gözlənilən patoloji halın və ya sağlamanın aposterior ehtimalı hesablanır:

$$P(A_1 / x_1^1, x_2^1, \dots, x_r^1) = \frac{P(A_1) \prod_j P(x_j^1 / A_1)}{\sum_k P(A_k) P(x_1^1 / A_k) P(x_2^1 / A_k) \dots P(x_r^1 / A_k)} \quad (3.1)$$

$$P(A_l / x_1^m, x_2^m, \dots, x_r^m) = \frac{P(A_l) \prod_j P(x_j^m / A_l)}{\sum_k P(A_k) P(x_1^m / A_k) P(x_2^m / A_k) \dots P(x_r^m / A_k)} \quad (3.m)$$

6. (3.1), ..., (3.m) nəticələrinə əsasən müvafiq qərar qəbul edilir.

Yuxarıdakı düsturlar ilk baxışdan mürəkkəb görünə bilər. Lakin müasir hesablama texnologiyalarının inkişaf səviyyəsi bu düsturlardakı hesablamaları bir neçə saniyə ərzində yerinə yetirməyə imkan verir.

Bizim tərəfimizdən təbabətin müxtəlif istiqamətlərində – neyrocərrahiyyə, mədə-bağırsaq cərrahiyyəsi, onkoloji xəstəliklərdə Bayes statistikasından istifadə etməklə müxtəlif patoloji halların baş verməsinin, gedişatının proqnozlaşdırılması və qiymətləndirilməsi məsələlərində müvəffəqiyyətli tətbiq edilmişdir [7-10]. Proqnostik modelin alqoritm və hesablamlar MS Excel proqramında həyata keçirilmişdir.

CƏDVƏL 1. RISK FAKTORLARININ PROQNOZİTİK CƏDVƏLİ

Nö	Risk faktorları (x_j)	Faktorların dərəcələri (x_j^i)	$P(x_j^i / A_1)$	...	$P(x_j^i / A_2)$
1	x_1	x_1^i	$P(x_1^i / A_1)$		$P(x_1^i / A_2)$
2	x_2	x_2^i	$P(x_2^i / A_1)$		$P(x_2^i / A_2)$
...	...	...	...	...	...
r	x_r	x_r^i	$P(x_r^i / A_1)$		$P(x_r^i / A_2)$

Bir nümunə üzərində Bayes düsturunun tətbiqinə baxaq.

Qarın boşluğu orqanları üzərində aparılan əməliyyatlardan sonra yaraların irinləməsinin (ƏSYİ) risk faktorları tədqiq edilmişdir [8]. Bu məqsədlə 200 xəstənin müayinələrinin nəticələri təhlil edilmişdir.

Tədqiqatda 2 hala baxılmışdır ($k=2$):

A_1 – əməliyyatdan sonra ƏSYİ baş verməsi,

A_2 – əməliyyatdan sonra ƏSYİ baş verməməsi.

ƏSYİ baş vermiş xəstələrin sayı 42, ƏSYİ baş verməmiş xəstələrin sayı 158 olmuşdur. Bu halların aprior ehtimalları:

$$P(A_1) = 42/200 = 0,21; P(A_2) = 158/200 = 0,79$$

Empirik verilənlərə görə 20-yə yaxın simptomtədqiq edilmiş, bunlardan əməliyyatdan sonra ƏSYİ baş verməsinə əhəmiyyətli təsir edən 11 faktor seçilmişdir:

1. Xəstənin cinsi
2. Xəstənin yaşı
3. Əməliyyatın sayı
4. Yanaşı gedən xəstəliklərin mövcudluğu
5. Xəstədə piylənmə
6. Hospitalizasiyanın növü (xəstə daxil olandan əməliyyatın başlanmasına qədər olan müddət)
7. Əməliyyatın vaxtı (fəsil)
8. Xəstədə şəkərli diabetin mövcudluğu
9. Xəstənin immuniteti
10. Xəstənin qan qrupu
11. Əməliyyatın təmizlik dərəcəsi

Növbəti mərhələdə hər bir faktorun dərəcələri araşdırılmışdır. Nəticələr ümumiləşdirilərək əhəmiyyətli risk faktorlarını özündə birləşdirən vahid proqnostik cədvəl tərtib edilmişdir.

$P(A_1) = 0,21$; $P(A_2) = 0,79$ olduğunu və cədvəl 2-ni nəzərə alsaq, (3.1) - (3.m) düsturlarını aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$P(A_1 / x_1^i, x_2^i, \dots, x_{11}^i) = \frac{0,21 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_1)}{0,21 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_1) + 0,79 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_2)} \quad (4.1)$$

$$P(A_2 / x_1^i, x_2^i, \dots, x_{11}^i) = \frac{0,79 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_2)}{0,21 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_1) + 0,79 \cdot \prod_j P(x_j^i / A_2)} \quad (4.2)$$

(4.1) və (4.2) düsturlarında (x_j^i) – faktorların dərəcələridir.

$P(x_j^i / A_1)$ və $P(x_j^i / A_2)$ aprior ehtimallarının qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir.

CƏDVƏL 2. ƏSYİ BAŞ VERMƏSİNİN RISK FAKTORLARININ PROQNOZİTİK CƏDVƏLİ

Nö	Risk faktorları (x_j)	Faktorların dərəcələri (x_j^i)	$P(x_j^i / A_1)$	$P(x_j^i / A_2)$
1.	Xəstənin cinsi	Kişi	0,357	0,601
		Qadın	0,643	0,399
2.	Xəstənin yaşı	50 yaşa qədər	0,476	0,722
		50 yaşdan yuxarı	0,524	0,278
3.	Əməliyyatın sayı	İlkin	0,690	0,905
		Təkrar	0,310	0,095
4.	Yanaşı xəstəlik	Var	0,524	0,266
		Yoxdur	0,476	0,734
5.	Piylənmə	Var	0,619	0,222
		Yoxdur	0,381	0,778
6.	Əməliyyatın növü	Təcili	0,452	0,190
		Planlı	0,548	0,810
7.	Fəsil	Qış	0,048	0,272
		Yaz	0,548	0,241
		Yay	0,262	0,184
		Payız	0,143	0,304
8.	Şəkərli diabet	Var	0,17	0,04
		Yoxdur	0,83	0,96
9.	Xəstənin immuniteti	Azalıb	0,262	0,070
		Azalmayıb	0,738	0,930
10.	Xəstənin qan qrupu	0 (I)	0,7857	0,082
		A (II)	0,1667	0,342
		B (III)	0,0476	0,411
		AB (0)	0,0000	0,165
11.	Əməliyyatın təmizlik dərəcəsi	Təmiz/ nisbi təmiz	0,071	0,557
		İnfeksiyalaşmış və çirkli	0,929	0,443

Misal. Xəstə M.F., qadın, 54 yaşda. İlkin əlamətlər nəzərə alınaraq (4.1) və (4.2) düsturlarına əsasən $P(A_1 / x_1^i, x_2^i, \dots, x_{11}^i) = 0,871$ və $P(A_2 / x_1^i, x_2^i, \dots, x_{11}^i) = 0,129$ alınmışdır. Yəni ƏSYİ baş verməsi ehtimalı kifayət qədər

yüksək (87,1 %) olmuşdur. Əməliyyatdan sonra yarada irinləmə baş vermişdir. Zəruri müalicə almış, müvafiq preparatlar təyin olunmuş, yara ikincili sağalmışdır.

NƏTİCƏLƏR

1. Bayes statistikasını tədqiqatçılara əvvəlki bilikləri nəzərə almaqla müşahidə edilən empirik məlumatlar əsasında baş verəcək xəstəlik, ağırlaşma və ya sağalma haqqında daha dəqiq qərar qəbul etməyə imkan verir.

2. Bayes statistikasını məhdud sayda daha çox amilin nəzərə alınmasını təmin edir.

3. Bayes statistikasının tətbiqi nəticəsində həkimlər, gözlənilən patologiyaların qarşısını almaq üçün əvvəlcədən zəruri profilaktik tədbirlər görmək imkanı qazanır.

İSTİNADLAR

- [1] Тарасова, С.А. Прогнозирование в клинической медицине / С.А. Тарасова // Инновации в науке: сб. ст. по матер. XXX междунар. науч.-практ. конф. Часть II. - Новосибирск: СибАК, 2014. - С.57-60.
- [2] Рустамов Я.И., Эфендиев Г.Д. Построение прогностической модели безотказной работы субартезианских скважин // Вестник ХНТУ, Херсон, 2015, № 3 (54), с. 179-183
- [3] Rustamov Y.I., Afandiyev G.J. Constructing forecasting model of no-failure operation of pump stations // Springer, 24.08.2016, pp. 1053-1059
- [4] Шаров В.Д. Применение байесовского подхода для уточнения вероятностей событий в автоматизированной системе прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий. Управление большими системами, 2013, № 43, с. 240-253.
- [5] Гмурман В.Е. (2010). Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшее образование.
- [6] Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л: Медицина 1978; 296с.
- [7] Эфендиев Г.Д., Халилзаде Р.С., Гасанов Р.С. Анализ факторов, влияющих на исходы хирургического лечения геморрагических инсультов. Аз. Мед. Журнал, Баку, 2003, 4, с. 71-74
- [8] Q.C.Əfəndiyev, R.Cəfərli, A.Fərzəliyev. Əməliyyatdan sonrakı ventral yaraların irinləməsinin proqnozlaşdırılması // Azərbaycan təbabətinin müasir nailiyyətləri jurnalı №2, 2017, s. 97-103
- [9] Эфендиев Г.Д., Гулиев Ф.А., Казымов А.Т., Алиев А.Р. Математическая модель прогнозирования экстракапсулярной экстензии у пациентов предстательной железы // Онкологический журнал ОО «Белорусское общество онкологов», Т.11, №4(44), 2017, с. 65-71
- [10] Эфендиев Г.Д., Рустамов Я.И., Талыбова Н.Г. Оценка эффективности прогностических моделей с применением формулы Байеса // Вестник Херсонский национальный технический университет (ХНТУ), № 3(62), 2017, Том 2. с. 245-248

Süni İmmun Sistemləri Əsasında Tibbi Təyinatlı Proqram Sisteminin Kibertəhlükəsizliyinin Təmin Edilməsi Algoritmi

Şəfəqət Mahmudova

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
shafagat@gmail.com

Xülasə— Məqalədə süni immün sistemləri əsasında tibbi təyinatlı proqram sisteminin (PS) kibertəhlükəsizliyini təmin etmək üçün alqoritm işlənmişdir. Süni immün sistemi nəzəri immunologiyada problemlərin həlli üçün istifadə olunan modellərdən, prinsiplərdən, mexanizmlərdən və funksiyalardan istifadə edən adaptiv hesablama sistemidir. Onun müxtəlif elm sahələrinə tətbiqi araşdırılmışdır. Süni immün sistemlərinin proqram sistemi üçün oynadığı rol əvəzsizdir. Süni immün sistemi sahəsində olan bəzi ədəbiyyatların təhlili aparılmış, həll olunması məsələlər müəyyənləşdirilmişdir. Bayes metodu müəyyən şərt daxilində hər hansı bir hadisənin olma ehtimalını dəqiq hesablamağa icazə verir. İşdə süni immün sistemlərdən istifadə etməklə tibbi təyinatlı proqram sisteminə Bayes metodunun tətbiqi bununla əlaqədardır. Bunun üçün alqoritm işlənmişdir. Eksperimentlərin nəticəsi qənaətbəxş olmuşdur.

Açar sözlər— süni immün sistemi; tibbi təyinatlı; proqram sistemi; kibertəhlükəsizlik; Bayes metodu; ziyanlı proqramlar

I. GİRİŞ

İnformasiya texnologiyalarının inkişafı bir çox elm sahələrinin inkişafına səbəb oldu. İnsan orqanlarının işləmə prinsiplərinə əsaslanan texnologiyalar geniş vüsət aldı: süni intellekt metodları, vizual görüntülərin işlənmə vasitələri, süni torlu qişa, bütün növ genetik alqoritmlər və s. İmmün sistemlərinin iş prinsipləri əsasında qurulmuş informasiya sistemləri bir çox sahələrdə böyük potensiala malikdir [1].

Tibbdə immün sistemi uyğunlaşdırıla bilən mürəkkəb müdafiə mexanizmlərinin kompleksidir, onun əsas funksiyası bədəni zərərli və xarici maddələrdən, toksinlərdən, mikroorqanizmlərdən və zərərli hüceyrələrdən müdafiə etməkdir.

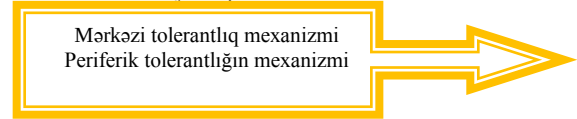
Canlı orqanizmin təhlükəli xarici və daxili amillərə davamlı təsirindən müdafiəsi immün sisteminin inkişafını təmin edir. İmmunitet sistemi endogen maddələrə daşıyıcı cavab verir və bədənin öz toxumalarına mənfi təsir göstərmir [2].

Endogen intoksikasiya (EI) onların yaranma mənbəyinə çevrilmiş xəstəlikdən (zədə, radiasiya, infeksiya, iltihab), orqanizmdə toksiki məhsulların yığılmasına gətirən fizioloji sistemdən (bağırsaq, böyrək) asılı olaraq təsnif edilir.

İmmunoloji reaksiyaların çoxu qısa ömürlüdür və çox güclü reaksiyaya mane olan tənzimləyici mexanizmlər tərəfindən idarə olunur.

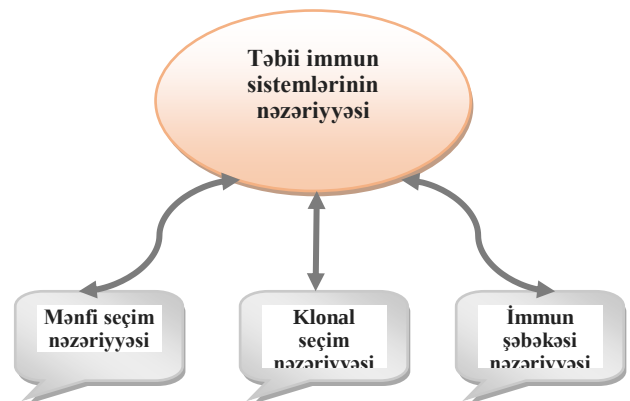
Dözümlülük immün sisteminin öz vücuduna qarşı yönəldilən dağıdıcı reaksiyalara yol vermədiyi mexanizmlər kompleksidir.

Tolerantlığın iki mexanizmi şəkil 1-də göstərilmişdir. Periferik dözümlü yanaşma deməkdir.



Şəkil 1. Tolerantlığın iki mexanizmi.

Bütün ibtidai limfoid orqanlarda yerləşən və bədənin öz antigenlərinə qarşı hərəkət edən əksər limfositlər mərkəzi dözümlülük mexanizmləri ilə məhv edilir. İmmunologiya, immün sisteminin quruluşu və işləmə qaydaları, xəstəlikləri və immunoterapiya üsulları elmidir. Bədənin hər hansı bir xarici maddəyə qarşı özünümüdafiəsinin bioloji mexanizmlərini öyrənir. Süni immün sistemi (SİS) nəzəri immunologiyada təsvir və tətbiq olunan problemlərin həlli üçün istifadə olunan modellərdən, prinsiplərdən, mexanizmlərdən və funksiyalardan istifadə edən adaptiv hesablama sistemidir. Təbii immün sistemlərinin tam öyrənilməsinə baxmayaraq, bu gün immün sisteminin fəaliyyətini və onun elementlərinin qarşılıqlı təsirini izah edən ən azı üç nəzəriyyə mövcuddur (şəkil 2):



Şəkil 2. Təbii immün sistemlərinin nəzəriyyəsi.

SİS 1980-ci illərin ortalarında Fermer, Packard Perelson 1986, Bersini, Varela 1990-cı ildə immunitet şəbəkələrinə aid yazdıqları məqalələrdə ortaya çıxdı. Bununla birlikdə SİS-in əsasları yalnız 1990-cı illərin ortalarında qoyuldu. Forrest və

Kephart [3] SİS haqqında ilk məqalələrini 1994-cü ildə nəşr etdilər və Dasgupta mənfi seçim nəzəriyyəsi ilə bağlı geniş araşdırma apardı. Hun Cooke 1995-ci ildə immun şəbəkəsi nəzəriyyəsi üzərində işə başladı. Timmis və Neal bu işi davam etdirdi və işi daha da təkmilləşdirdilər. Süni immun sistemlərinə dair ilk kitab 1999-cu ildə Dasgupta tərəfindən redaktə edilmişdir [4].

İnsanların orqanları kimi eyni prinsiplərə əsaslanan texnologiya bu gün geniş yayılmışdır: neyronşəbəkələrə əsaslanan süni intellekt, vizual görüntünün emal vasitələri, süni torlu qısa, müxtəlif genetik alqoritmlər və s. İmmunitet prinsipləri əsasında qurulmuş informasiya sistemləri bir çox sahələrdə böyük potensiala malikdir. Hazırda süni immun sistemlər əsasən bir növ süni intellekt sistemlərindən istifadə edir, lakin kompüter viruslarına qarşı mübarizə üçün toxunulmazlıq prinsipi üzərində işləyən müdafiə sistemlərindən istifadə edir, şəbəkə müdaxilələrini aşkar edir və s. Burada başqa bir prosesdə baş verir - klonal seleksiya antitellərin bir növ təbii seleksiyaının baş verdiyi yerdə: yalnız aşkar olan xarici cisim altında yaşayanların yalnız sağ qalmasıdır. Eyni zamanda, yaranan antikorlarla (immunitet sisteminin bədənə qarşı təhdidləri müəyyən edib yox etməsinə kömək edən zülallara deyilir) bağlı məlumatlar yuxarıda göstərilən gen kitabxanasına daxil edilir. Beləliklə, gen verilənlər bazası yalnız təhlükə ilə qarşılaşa bilən məlumatları ehtiva edir. Vacib olan immunitet sisteminin əsas xüsusiyyətləri şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. İmmun sisteminin əsas xüsusiyyətləri.

Bu mərkəzləşdirilmiş yüksək səviyyədə paralel paylanmış məlumatların emalı və analiz sistemidir və xüsusilə paylanmış hesablama mühitlərinin qorunması üçün əlverişlidir. SİS-in aşağıdakı alqoritmləri vardır:

Klonal seçim alqoritm - B və T lenfositlərin antigenlərə qarşı reaksiyasını zamanla yaxşılaşdırdıqlarını izah edən, əldə

edilmiş toxunulmazlığın klon seçimi nəzəriyyəsinə əsaslanan alqoritmlər sinfidir. Bu alqoritmlər Darvin nəzəriyyəsinin atributlarına əsaslanmışdır, burada seçim antigenlərin və antitellərin qarşılıqlı təsirində, hüceyrələrin bölünməsi prinsipinə və somatizasiyaya (stres kimi psixi faktorların fiziki simptomlara, daha çox ağrı, ürək bulanması, boğulma hissi və s. səbəb olması) əsaslanır.

Mənfi seçim alqoritm - ən pis variantın seçimidir. Mənfi seçim, tibbi xidmətə ehtiyacı olan insanların sığorta almaq ehtimalı yüksək olduqda baş verir.

İmmun şəbəkəsi - İmmun sistemi orqanlar, ağ qan hüceyrələri, zülallar (antikorlar) və kimyəvi maddələrdən ibarət geniş bir şəbəkədir. Bu sistem insanı infeksiyalara, xəstəliklərə və narahatlığa səbəb olan xarici cisimlərdən (bakteriyalar, viruslar, parazitlər və göbələklər) qorumaq üçün şəbəkə şəklində işləyir.

SİS, immun sisteminin prinsipləri və proseslərinə əsaslanan avtomatlaşdırılmış hesablama sistemləri sinfidir. Tipik olaraq, bu cür alqoritmlər problemi həll etmək üçün immun sisteminin yaddaşından və öyrənmə qabiliyyətindən istifadə edir.

II. ƏDƏBİYYATLARIN MÜZAKİRƏSİ

İmmun sistemlərdən istifadə edərək kompleks texnoloji problemlərin həllinə yönəldilmiş bir çox tədqiqat işləri aparılmışdır. Onların arasında anormal aşkarlama, obrazların tanınması, sistem kibertəhlükəsizliyi və məlumatların toplanması bu strukturda həll olunmuş problemlərdən hesab olunur. Böyük həcmli proqram sistemlərini idarə və nəzarət etmək çətinidir. Bir çox hallarda, bu sistemlərdə xüsusilə yeniləmə və ya onların ətraf mühitində dəyişikliklər baş verdikdən sonra (məsələn, əməliyyat sistemi yeniləndikdə və s.) gözlənilməz davranışlar baş verə bilər. Buna görə dəyişən mühitdə bunun qarşısını almaq üçün, özünü adaptiv metodlarla səhvini aşkarlanması və performansın monitorinqinə ehtiyac vardır [5]. Proqram səhvlərinin aşkarlanması ilə təbii immun sistemlərdə aşkar edilən patogen (hər hansı orqanizm sisteminə zərər verə bilən və xəstəliyin inkişafına səbəb ola biləcək bir ekoloji amil kimi başa düşülür) mikroorqanizmlərin aşkarlanması problemi arasında oxşarlıqlar vardır. Bu sistemlərdə müşahidə edilən peyvənd və mənfi klonal seçimlərdən istifadə edərək sistem resurslarının göstəricilərini təhlil edərək proqram təminatlarının monitorinqi üçün effektiv adaptiv model hazırlanmışdır.

Süni intellekt (Sİ) maşın və proqram təminatında insanın zəkasını əks etdirir. Bu, bir çox müasir tədqiqat sahələrində çox arzu olunan akademik sahədir. Sİ-nin aparıcı tədqiqatçıları bu sahəni "ağıllı agentləri öyrənmək və dizayn etmək" kimi təsvir edirlər. McCarthy termini 1955-ci ildə icad etdi və onu "ağıllı maşınların yaradılmasının elm və texnologiyası" olaraq təyin etdi. Sİ tədqiqatının əsas məqsədləri təfəkkür, bilik, planlaşdırma, təlim, təbii dildə işləmə (ünsiyyət), qavrayış və obyektlərin hərəkət və manipulyasiya etmək bacarığıdır. Əslində, Sİ -nin fənlərarası sahəsi olduqca genişdir və bir çox elm və peşəni, o cümlədən kompüter elmləri, psixologiya, dilçilik, fəlsəfə, nevrologiya və s. sahələri əhatə edir. Bu sahə insanların mərkəzi intellektual mülkiyyəti olaraq Homo

Sapiensin "intellekt zehni o qədər dəqiq təsvir edilə bilər ki, onu modelləşdirmək üçün bir maşın yaradıla bilər" fikri üzərində quruldu. Sİ böyük mövzu idi, eyni zamanda uğursuzluqlarla da üzləşdi [6].

Signallar ilə kəsişmələrdə aralıq trafikə nəzarət etmək və optimallaşdırma metodlarına və süni zəkaya əsaslanan bir neçə yol signallarının idarəetmə sistemi hazırlanmışdır. Təklif olunan sistem, müasir trafik modelləşdirmə proqramı olan VISSIM-dən (dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi üçün hazırlanmış vizual proqramlaşdırma dilidir) istifadə edərək modelləşdirilmiş kəsişməyə tətbiq olunur. Nəticələr təklif olunan sistemin rəqabət qabiliyyətli olduğunu və müxtəlif trafik ssenarilərini idarə etməyə qadir olduğunu və yüksək trafik axını ilə əlaqəli ekstremal vəziyyətlərdə istifadə üçün tövsiyə olunduğunu göstərir [7]. İnsan bədəninin immun sistemi bir çox zərərli virus və xarici cisimlərdən qorunmaq üçün böyük potensiala malikdir. Tarix boyu insanlar mikroorqanizmlərə (Mikroorqanizmlər və ya mikroblar adətən ölçüləri 0,1 mm-dən az, gözlə görünməyəcək qədər kiçik olan canlı orqanizmlərin ümumi adı) yoluxmuşdur. Bu mikrobial (mikroblarla bağlı çox kiçik canlılar, xüsusən də xəstəliyə səbəb olanlar) mikrob biotexnologiyasının ölçüsünü və intensivliyini məhdudlaşdırmaq üçün insanlar onlarla mübarizə etmək xüsusiyyətlərinə malikdir. İnsanın immun sistemi bədəni, dərin, hüceyrələri və toxumaları xarici maneələrdən qorumağa qadirdir. [8]-də adaptiv immun sistemlərinin riyazi modelləri vasitəsilə insanın immun sisteminin öyrənilməsinə dair nümunə təqdim olunur. Bədəndə bərpa mexanizmi meydana gəldikdə xarici hissəciklərin təsirini öyrənmək üçün geniş simulyasiyalar (tədqiq olunan sistemin həqiqi sistemi kifayət qədər dəqiqliklə təsvir edən bir modelə əvəz olunduğu tədqiqat metodu) aparılmışdır. Əldə olunan nəticələr insanın immunoloji riyazi modelinin etibarlılığını əsaslandırır. İnsan bədənində təhlükəsizlik və məxfiliyin olması güclü şəbəkə sisteminin yaradılmasına kömək edə biləcəyini müdafiə edir [8]. Dinamik risk identifikasiyası mümkün risk məlumatlarına əsaslanaraq gələcək riskləri proqnozlaşdırmaq üçün istifadə olunur. Qeyri-səlis istinad vektor sistemi (fuzzy support vector machine, FSVM) modelinə əsaslanan risk identifikasiya texnologiyasının təlim modelindən istifadə etməklə mümkün riskləri tam və avtomatik müəyyən edə bilər və bu texnologiya dinamik risk identifikasiyasının əsas metoduna çevrilmişdir. Tanınmanın səmərəliliyini və dəqiqliyini artırmaq üçün FSVM parametrlərinin seçilməsi çox vacibdir. Süni immun alqoritm (artificial immune algorithm AIA), stoxastik qlobal optimallaşdırma üçün effektiv bir texnologiyadır və yüksək dəqiqlik, yaxınlaşma dərəcəsinin üstünlüklərinə malikdir. Buna görə, [9]-də FSVM və immun optimallaşdırma alqoritminin (immune optimization algorithm, IOA) inteqrasiyasına əsaslanan yeni bir dinamik risk identifikasiya modeli təklif edilmişdir. [10]-də şəbəkəyə müdaxilələrin aşkar edilməsi üçün hibrid modeli təqdim edilir, belə ki, informasiyanın qorunmasının ənənəvi metodlarıyla süni immun sistemi metodlarını uyğunlaşdırır. Anomaliyaların aşkar edilməsi funksiyasının köməyi ilə şəbəkədə təhlükələrinin tanınması, yanlış istifadə və immunoloji təhlükənin modelinə əsaslanan anadangəlmə immun funksiyasına şəbəkənin monitorinqi əsasında müdaxilələrin

aşkar edilməsi üçün proqramları özünə daxil edir. Sınaqlar yanlış istifadə əsasında müdaxilələrin aşkar edilməsiylə müqayisədə aşkar etmənin yaxşılaşdırılmış dəqiqliyini müəyyən edir. Sonrakı tədqiqat və modelin yaxşılaşması üçün vacib olan sahələr müzakirə edilir. Ədəbiyyatların təhlilindən görüldüyü kimi, süni immun sistemlərinin müxtəlif sahələrə tətbiqi çox əhəmiyyətlidir və effektiv nəticə verir. Süni immun sisteminə əsaslanan müdafiə sistemlərinin üstünlükləri və mənfi cəhətləri cədvəl I-də göstərilmişdir.

CƏDVƏL I. SÜNİ İMMUN SİSTEMİNƏ ƏSASLANAN MÜDAFİƏ SİSTEMLƏRİNİN ÜSTÜNLÜKLƏRİ VƏ MƏNFI CƏHƏTLƏRİ

Üstünlükləri	Çatışmazlıqları
Çox sayda detektorun ((xüsusi maddə və ya hadisəni aşkar edən cihazlar) olması davamlılığa və sistemin etibarlılığına gətirib çıxarır.	Autoimmun (orqanizmdə immun sisteminin iş prinsipinin pozulması ilə əlaqədar meydana çıxan xəstəliklərdir) reaksiyası mümkündür.
İmtinanın (rəddin) vahid nöqtəsi yoxdur.	Mümkün autoimmun reaksiyasının olmasıdır.
Təklif olunan sistemdə paylanmış hesablama mühitinin düyün nöqtələrinin saylarının artması təhlükəsizlik səviyyəsinin artmasına da səbəb olur.	İmmun çatışmazlığı xüsusilə paylanmış hesablama mühitində az sayda qovşaqlarda mümkündür.
Dedektorların zərərli obyektlərlə bütün toqquşmaları yadda saxlanılır. Bu detektorların təliminə imkan verir.	

III. ZİYANLI PROQRAM SİSTEMİNİ AŞKARLAMAQ ÜÇÜN METODLAR

Sistemlərin informasiya təhlükəsizliyi üçün ən ciddi təhlükələrdən biri də ziyanlı proqram sistemləridir (ZPS). ZPS kompüterdən gizli məlumatları oğurlaya bilər, fayllara yoluxa bilər, kompüter və ya bütün lokal şəbəkə boyunca yayıla bilər, məxfi məlumatların itkisinə səbəb ola bilər, ziyanvericilik məqsədilə saxlanılan bütün məlumatları şifrləyə bilər, məlumat sahiblərinə iqtisadi cəhətdən çox zərər verə bilər və s. Zərərli proqramların fəaliyyətinin qarşısını almaq üçün ən qısa zamanda onlar kompüterdə aşkar edilməli və silinməlidir [11].

ZPS şərti olaraq viruslara, qurdlara, troyanlara, casus proqramlarına, reklam proqramlarına və s. bölünə bilər [12].

1. Gizlətmə metodları. Bu üsullar vasitəsilə proqramın semantikasını dəyişdirmədən onun sintaksisini dəyişdirir və bu zərərli kodları təhlil etmək və anlamaq daha çətin olur [13]. Bu, dəyişənlərin yerləşdirildiyi registrləri dəyişdirməklə əldə edilə bilər, proqramın kodu isə eyni olaraq qalır; təlimatları digər zərərli təlimatlarla işləyən prosesin icrası qaydasını mübadilə təlimatları ilə dəyişir və s.
2. Şifrələmə kodu. ZPS şifrələnməsinə parolu dəşifrə / şifrələmə əməliyyatları, şifrələmə açarları və xüsusi şifrələnmə zərərli kodun özü daxildir.
3. Şifrəli ZPS şərti olaraq aşağıdakı növlərə bölünə bilər:
 - Oligomorfik (viruslu) proqramlar, şifrələmə, kodun bəzi xarakteristikalarını, məsələn, ZPS-nin sinyalizasiya (mərkəzləşdirilmiş) sistemləri tərəfindən aşkar edilməsini çətinləşdirən təsvirlər kimi kiçik bir dəyişiklik edir;

- Çox sayda şifrələmə alqoritmləri və açarlardan istifadə edərkən fərqli şifrələmə alqoritmı ilə şifrələndirilən və hər bir yeni infeksiyaya əsaslanan polimorfik proqramlar (proqramın bu obyektin xüsusi növü haqqında məlumat olmadan eyni interfeysə malik obyektlərdən eyni şəkildə istifadə etmək qabiliyyətidir.) belə ki, onların aşkarlanması çox çətindir və xeyli vaxt sərf edilir;
- Özünü tamamilə dəyişə bilən metamorfik (dəyişikliyə uğramış) proqramları özünü orijinala heç bir əlaqəsi olmayan yeni bir vəziyyətə çevirir və bu da onları aşkarlamaq üçün ən çətin haldır.

ZPS-nin aşkarlama sistemləri, qorunan kompüter sisteminin adətən ilk kibermüdafiəsidir. Bu sistemlərə aid metodların əksəriyyəti aşağıdakı üç sinifə bölünə bilər.

1. İmza metodları ZPS-ni aşkar etmək üçün geniş istifadə olunur. Çox təsirli olmasına baxmayaraq, əgər, kodda çox kiçik dəyişiklik olarsa, bu da öz növbəsində imzanı dəyişir və təsirli olmur. Əlavə olaraq, bu metod yeni ZPS aşkar etmək üçün imza bazasının müntəzəm olaraq yenilənməsini tələb edir [14];
2. Davranış metodları proqramın zərərli olub, olmadığını müəyyən etmək üçün onun davranışının davamlı müşahidəsini təmin edir. Eksperimentlər göstərir ki, bu metodlar yüksək səviyyədə yalan pozitivlərə malikdir
3. Evristik (məsələ həllinə, öyrənməyə, yaxud kəşf etməyə hər hansı elə yanaşmadır ki, o, optimal, mükəmməl, məntiqli, yaxud rəşional olduğuna zəmanət verilməyən, ancaq bilavasitə məqsədə çatmaq üçün kifayət edən praktik metoddan istifadə edir) metod proqramların davranışını müəyyən etmək üçün əsasən maşın təlimindən və verilənlərin intellektual analizindən istifadə edir [15].

IV. BAYES METODUNUN TƏTBİQİ İLƏ ALQORİTMİN İŞLƏNİLMƏSİ

Kibertəhlükəsizlik, bir sıra texnologiyaları, prosesləri, kompüter avadanlıqlarını, məlumatları, proqramları, xidmətləri, şəbəkələri istəmədən və ya icazəsiz girişdən, dəyişikliklərdən və məhv edilmədən, o cümlədən planlaşdırılmamış hadisələrdən və təbii fəlakətlərdən qorumaq metodlarını əhatə edir.

Kiber məkandakı aktivlər, şəxsiyyət, təşkilat və ya dövlət üçün dəyərli olan mənbələr maddi və qeyri-maddi ola bilər. Maddi aktivlərə müəssisə, binalar, avadanlıq, avtomobillər, xammalın əmlakı və s.daxildir. Qeyri-maddi aktivlər xidmətlərə və ya xidmətlərin verilməsinə, patentlərə və ya vacib məlumatlara sahib olmağa, ixtisarlara, təcrübələrin, işçilərin nüfuzuna sahibdir. Kibertəhlükəsizlik məsələlərində bir neçə problemi həll etmək lazımdır:

- Obyektlərin mühafizəsini müəyyən etmək lazımdır;
- Təhlükələrin mənbəyini müəyyən etmək lazımdır;
- Əks təhdidlər üçün tədbirlər görmək lazımdır;
- Bütün aktivlərin həssaslığını izləmək lazımdır;
- Hərbi və dövlət orqanlarının kiber sistemlərinə bənzər sistemləri aşkarlamaq lazımdır və s.

Süni immun sistemlərinin PS üçün oynadığı rol barədə məlumat verdik. Bayes metodundan istifadə edərək immun sistemlərinin PS üçün nə dərəcədə qoruyucu olmasını müəyyən etmək olar. Bayes metodu haqqında məlumat verək.

Bayes teoremi (və ya Bayes düsturu) — elementar ehtimal nəzəriyyəsinin əsas teoremlərindən biridir, hansı ki, müəyyən şərt daxilində hər hansı bir hadisənin ehtimalını dəqiq hesablamağa icazə verir. Bayes metodunun tətbiqi onunla nəticələnir ki, onun praktikada tətbiq edilməsi üçün böyük sayda hesablamalar tələb olunur.

Buna görə Bayes qiymətləndirilmələri yalnız kompüter və şəbəkə texnologiyalarında baş verən yeniliklərdən sonra fəal istifadə edilməyə başlandı [16, 17].

Bayes düsturu aşağıda göstərilmişdir:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Burada

$P(A)$ – A hadisəsinin olma ehtimalı;

$P(A|B)$ – B hadisəsi baş verdikdə A hadisəsinin olma ehtimalı;

$P(B|A)$ – A hadisəsi baş verdikdə B hadisəsinin olma ehtimalı;

$P(B)$ – B hadisəsinin olma ehtimalı.

PS arasında virusun yayılma tezliyi 0,001, və immun sisteminin PS-ni qoruması metodu 0,9 ehtimalla virusu aşkara çıxarır. Bu halda müsbət nəticənin 0,01 səhv olma ehtimalı vardır. Burada proqramın immun sistem tərəfindən qorunması ehtimalını tapmaq lazımdır, yəni virusun yalan olduğunu sübut etmək lazımdır. Yoxlama zamanı virusun olduğu fərz edilən PS-nin təmiz olma ehtimalını tapmaq lazımdır.

$\bar{I}$ – PS virusludur;

“ $\bar{I}$ ” – yoxlama göstərdi ki, PS virusludur;

H – PS-nin təmiz olduğunu göstərir.

Onda verilən şərt belə yazılır:

$$P(\langle \bar{I} \rangle | \bar{I}) = 0,8;$$

$$P(\langle \bar{I} \rangle | H) = 0,02;$$

$$P(\bar{I}) = 0,002;$$

$$P(H) = 0,888.$$

Ehtimal edilir ki, PS təmizdir, əgər o viruslu hesab edilirdisə, onda o şərti ehtimala bərabərdir:

$$P(H | \langle \bar{I} \rangle).$$

Onu tapmaq üçün, virusun tam olma ehtimalını hesablayaq:

$$P(\langle \bar{I} \rangle) = 0,888 \times 0,02 + 0,002 \times 0,8 = 0,01936.$$

Ehtimal edilir ki, PS təmizdir, nəticə etibarilə "viruslu" olduğu halda:

$$P(H | \langle \bar{I} \rangle) = 0,999 \times 0,01 / (0,999 \times 0,01 + 0,001 \times 0,9) \approx 0,917.$$

$$P(H | \langle \bar{I} \rangle) = 0,888 \times 0,02 / (0,888 \times 0,02 + 0,002 \times 0,8) \approx 0,917.$$

Beləliklə, 91,7%, PS-də, müəyinə vaxtı “viruslu” hesab edilən PS əslində təmizdir.

Əgər müayinənin nəticələrini təsadüfi səhv hesab etmək olarsa, onda həmin ki PS-nin təkrar müayinəsi birinci nəticədən asılı olmayaraq müstəqil olacaq. Bu halda nəticələrin yalan müsbət payının azaldılması üçün PS-nin təkrar müayinəsini keçirmək əhəmiyyət daşıyır, əgər “viruslu”

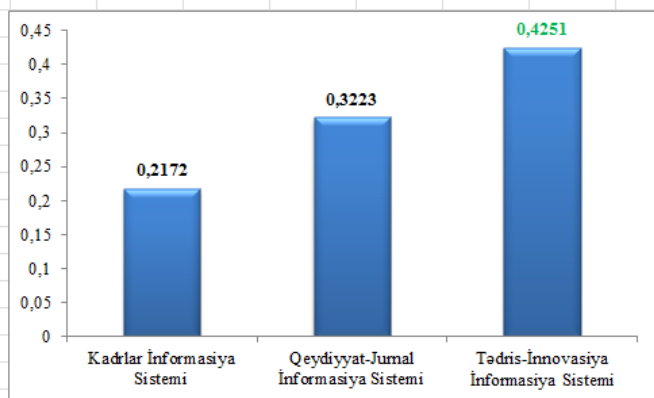
nəticəni almışlarsa. Ehtimal edilir ki, PS təkrar nəticənin "viruslu" alınmasından sonra təmizdir, həmçinin Bayes düsturuna görə belə hesablamaq olar:

$$P(\bar{I} | \langle H \rangle, \langle H \rangle) = 0,888 \times 0,02 \times 0,02 / (0,888 \times 0,02 \times 0,02 + 0,002 \times 0,8 \times 0,8) \approx 0,2172.$$

Ekspərimənt aparmaq üçün üç PS-dən istifadə edilmişdir. Göstərilən qayda hər bir PS üçün tətbiq edilmiş və nəticələr alınmışdır (cədvəl II) [18]. Nəticənin qrafik təsviri şəkil 4-də verilmişdir.

CƏDVƏL II. PS-LƏRİN BAYES DÜSTURUNA GÖRƏ TƏMİZ OLMA EHTİMALI

PS-lər	Bayes düsturuna görə alınan qiymətlər
Kadrlar İnformasiya Sistemi	0,2172
Qeydiyyat-Jurnal İnformasiya Sistemi	0,3223
Tədris-Innovasiya İnformasiya Sistemi	0,4251



Şəkil 4. Bayes düsturuna görə eksperiment aparılan proqram sisteminin təmiz olma ehtimalı.

V. NƏTİCƏ

Məqalədən göründüyü kimi SİS-in bütün elm sahələrində rolu böyük əhəmiyyətə malikdir. SİS-in müxtəlif alqoritmləri vardır və bunlardan müxtəlif məsələlərin həllində istifadə olunur. Proqramlaşdırmada SİS-dən istifadə edilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. SİS-dən zərərli proqram sistemlərinin (viruslar, qurdlar, troyanlar, casus proqramları və s.) təmizlənməsində istifadə edilir. Bu məqalədə də SİS əsasında tibbi təyinatlı proqram sisteminin kibertəhləkəsizliyini təmin etmək üçün Bayes metodunun tətbiqi ilə yeni alqoritm işlənilmiş və eksperiment aparılmışdır. SİS-in özünün üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri vardır. Çatışmayan cəhətləri aradan qaldırmaq üçün mükəmməl SİS-lər işlənilməlidir ki, bu da proqram sisteminin effektiv və keyfiyyətli işləməsinə səbəb olsun. Təklif olunan metod istənilən optimallaşdırıcıdan (optimallaşdırıcı qurğular, həmçinin kibertəhləkəsizliyi təmin edən sistemlər) istifadə edərək optimallaşdırıla bilər.

İSTİNADLAR

- [1] С. В. Гаврилюк, Б. Н. Оныкий и А. А. Станкевичус, “Применение искусственных иммунных систем для защиты сред распределенных вычислений от вредоносного программного обеспечения”. Информационные технологии, том.17, № 3, стр. 32-34, 2015.

- [2] De Castro Leandro and Jon Timmis, “A Artificial immune systems: a new computational intelligence approach”, Book, Springer, Berlin, p. 398, 2002.
- [3] J. Kephart, “A biologically inspired immune system for computers”, In: Fourth Int. Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems. MA: MIT Press, Cambridge, p. 130, 1994.
- [4] D. Dasgupta, “Artificial Immune Systems”, Artificial Immune System and Their Applications. Springer, Berlin, pp. 355-379, 2010. http://doi.org/10.1007/978-1-4614-6940-7_7
- [5] R. Ligeiro, “Monitoring applications: An immune inspired algorithm for software-fault detection”, Applied soft computing, vol. 24, no. 1095, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.021>
- [6] J. Sniecinski Seghatchian, Artificial intelligence: A joint narrative on potential use in pediatric stem and immune cell therapies and regenerative medicine. Trans and Aphaeresis Science, vol. 57 no. 3, p. 422, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.transci.2018.05.004>
- [7] S. Louati, S. Darmoul, S. Elkosantini, L. Ben Said, “An artificial immune network to control interrupted flow at a signalized intersection an arti”. Information Sciences, vol.433, no. 70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.12.033>
- [8] H. Rathore, M. Guizani, A. Mohamed, “Mathematical Evaluation of Human Immune Systems For Securing Software Defined Networks Wireless Net. and Mob. Comm”. In: 6TH In. Conf. (IEEE, Morocco), p. 187, 2018.. <https://doi.org/10.1109/WINCOM.2018.8629728>
- [9] Bo Yang, “Mathematical Evaluation of Human Immune Systems For Securing Software Defined Networks Safety Science”. In: 6th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), vol.118, no. 205, 2019. <https://doi.org/10.1109/WINCOM.2018.8629728>
- [10] L. Fanelli Robert, “A hybrid model for immune inspired network intrusion detection artificial immune syst”. In: International conference on artificial immune systems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 107-118, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85072-4_10
- [11] В.Л. Токарев, А.А. Сычугов, “Обнаружение вредоносного программного обеспечения с использованием иммунных детекторов”. Вопросы защиты информации, стр. 1-15, 2017. <https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-vredonosnogo-programmnogo-obespecheniya-s-ispolzovaniem-immunnyh-detektorov/viewer>
- [12] К.Н. Евдокимов, “К вопросу о совершенствовании угловой ответственности за создание, использование и распространение вредоносных программ для ЭВМ”. Право и законодательство, стр. 1-4, 2012. <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sovershenstvovanii-ugolovnoy-otvetstvennosti-za-sozdanie-ispolzovanie-i-rasprostranenie-vredonosnyh-programm-dlya-evm-st-273/viewer>
- [13] A. Venkatesan, “Code obfuscation and virus detection master's projects”, p. 116, 2008, San Jose State University. <https://doi.org/10.31979/etd.ez5v-x8jc>
- [14] А.А.Бирюков, “Информационная безопасность: защита и нападение”. ДМК Press, Москва, стр. 516, 2012. <https://dmkpress.com/catalog/computer/security/978-5-94074-647-8/?srsltid=AfmBOooQ90B-ggvI8yDmyXWCVfC6cXVVuJGIJdsUJyF1-SCLBHdPIYG>
- [15] К. Крис, “Компьютерные вирусы изнутри и снаружи” СПб, Питер, с. 527, 2011. <https://www.litres.ru/book/kris-kasperski/komputernye-virusy-iznutri-i-snaruzhi-585385/>
- [16] В. Е. Гмурман, “Теория вероятностей и математическая статистика”, Высшее образование, с. 480, 2005. Москва. http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/142/Gmurman.pdf
- [17] D. Stephen, “Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases”, Business Information Review, vol. 32, no. 2, pp. 93-99, 2015. <https://doi.org/10.1177/0266382115592536>
- [18] R.M. Alguliyev, T.H. Kazimov, Sh.J. Mahmudova, R.S. Mahmudova, “Corporate Information System Educational Center” in Proc. Educational Technology: The Inter. Conf., ICTE', Budapest, Hungary, vol. 1, no. 8, pp. 1-8, 2005. https://www.researchgate.net/publication/273696130_Corporate_Information_System_Educational_Center

Süni İntellekt əsaslı Sağqalma Təhlili əsasında Pasiyentin Yaşam Müddətinin Proqnozlaşdırılması

Məsumə Məmmədova¹, Fərqanə Abdullayeva²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²a_farqana@mail.ru

Xülasə— Əhalinin sağlamlığının qorunması və uzunömürlülüynün təmin edilməsi daim inkişaf edən səhiyyə və tibbin başlıca məqsədlərindəndir. Bu məqsədə nail olmaq üçün müasir tibbi praktikada pasiyentin müayinə nəticələrinin təhlili, xəstəliyin diaqnozunun dəqiq proqnozlaşdırılması və müalicə strategiyalarının əvvəlcədən qiymətləndirilməsi vacib amillər hesab olunur. Həkimlər bu proseslərdə geniş spektrli metod və texnologiyalardan istifadə edirlər. Onlar arasında sağqalma təhlili xüsusi yer tutur və bu sahədə effektiv metodologiyalardan biri hesab olunur. Səhiyyənin və tibbin sürətlə rəqəmsallaşması pasiyentin yaşam müddətinin daha dəqiq proqnozlaşdırılmasında innovativ yanaşmaların və metodların tətbiqi üçün yeni imkanlar yaratmışdır. Bu məqalədə tibbi verilənlər əsasında pasiyentin yaşam müddətini proqnozlaşdırmaq məqsədilə süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili üçün yanaşma işlənib hazırlanmışdır. Təklif olunmuş yanaşmanın effektivliyi *Concordance Index* və *AUC* metrikaları əsasında qiymətləndirilmişdir. Alqoritmlərin müqayisəli təhlili göstərmişdir ki, pasiyentin yaşam müddətini ən yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırın model *Fast Survival SVM* olmuşdur.

Açar sözlər— sağqalma təhlili; süni intellekt; Kaplan-Meier ayrısı; *Random Survival Forest*; *Concordance index*, *time-to-event data*

I. GİRİŞ

Səhiyyə və tibb elmlərində xəstəliklərin erkən diaqnostikası, xəstənin (pasiyentin) sağlamlıq vəziyyətinin və müalicənin effektivliyinin qiymətləndirilməsi, pasiyentin xəstəxanaya daxil olduğu vaxtdan ölüm hadisəsinin baş verə biləcəyi vaxta qədər yaşadığı müddətin proqnozlaşdırılması və bu müddətə təsir edən amillərin müəyyən edilməsi kritik əhəmiyyət daşıyan tədqiqat sahəsi hesab olunur [1]. Bu müddətin proqnozlaşdırılması məsələlərinin tədqiqi və həlli tibbin mühüm statistik alətlərindən biri olan sağqalma təhlili (survival analysis) vasitəsilə aparılır. Sağqalma təhlili hadisənin baş verməsinə qədər qalan müddəti (time-to-event) proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilən statistik metodlar toplusudur [2].

Sağqalma təhlili xüsusilə klinik onkoloji tədqiqatlarda mühüm yer tutur. Tibbin bu sahəsində aparılan əksər tədqiqatlarda sağqalma təhlilinin tətbiqi xərçəng xəstəliyinin diaqnozu qoyulandan sonra təyin edilən müalicə üsullarının təsirini müqayisə etməyə və hansı müalicənin daha məqbul olduğunu müəyyənləşdirməyə imkan verir, əməliyyat, kimyaterapiya və ya şüa terapiyasından sonra xəstələrin yaşam müddətini proqnozlaşdırır bilir [3].

Hadisənin baş verməsinə qədər qalan müddətin proqnozlaşdırılması üçün Cox Proportional Hazards, Kaplan Meier, log-rank tests adlı ənənəvi statistik sağqalma təhlili model və üsullarından istifadə edilir [4]. Lakin bu ənənəvi statistik sağqalma təhlili üsullarının miqyaslaşma imkanlarının olmaması, mürəkkəb qeyri-xətti əlaqələri idarə edə bilməməsi, çoxsaylı əlamətlərlə, o cümlədən böyük ölçülü verilənlərlə işləmək imkanının olmaması onların müasir səhiyyədə tətbiqini məhdudlaşdırır. Sadalanan problemlərin aradan qaldırılması üçün süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili yanaşmalarından istifadə olunması zəruri hesab olunur [5, 6, 7]

Məqalədə tibbi verilənlər əsasında pasiyentin yaşam müddətinin proqnozlaşdırılması üçün süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili alqoritmləri işlənmişdir.

II. SAĞQALMA TƏHLİLİNİN TARIXI

Sağqalma təhlili verilənlərin analizini həyata keçirmək üçün statistik üsullardan ibarət elm sahəsidir. Burada əsas çıxış parametri olaraq pasiyentin müəyyən bir hadisədən, məsələn, müalicəyə başlama və ya xəstəliyin diaqnoz qoyulmasından sonra nə qədər yaşayacağı müddət qəbul edilir. [8]. Sağqalma təhlili müşahidənin başlanma anından hadisənin baş vermə anına qədər olan vaxtı öyrənir. Sağqalma təhlili ilk dəfə ölüm hadisələrinin baş verməsi səbəblərinin öyrənilməsi məsələlərində tətbiq edilmişdir. Hazırda sağqalma təhlili xəstəliyin başlanmasına qədər qalan vaxtın, birjanın çökməsinə qədər qalan vaxtın, avadanlıqların sıradan çıxmasına qədər qalan vaxtın, zəlzələnin baş verməsinə qədər qalan vaxtın öyrənilməsi kimi geniş sahələrdə də tətbiq edilir [9]. Sağqalma təhlili metodları leykoz xəstələri və remissiyada olan vaxtın, normal fərdlər üçün ürək xəstəliyinin inkişaf vaxtının, yaşlı əhali və ölümə qədər qalan vaxtın, ürək transplantasiyası və ölümə qədər qalan vaxtın proqnozlaşdırılması məsələlərində də tətbiq edilir.

Sağqalma təhlilinin yaranması tarixi İkinci Dünya müharibəsindən sonra hərbi texnikanın etibarlılığına artan maraqla əlaqələndirilir.

Ölüm haqqında verilənləri, o cümlədən imtinaların vaxtını tədqiq edən statistik metodlardan ibarət sağqalma təhlili aparatı, müştərilərin daha təhlükəsiz və etibarlı məhsullara tələbatı artdığından xüsusi ilə sənayedə sürətlə yayılmağa başlamışdır.

III. SAĞQALMA TƏHLİLİNİN BƏZİ ANLAYIŞLARI

Sağqalma funksiyası (*Survival Function*). Sağqalma funksiyası adətən Kaplan-Meier əyrisi şəklində təsvir edilir. Kaplan-Meier əyrisində şaquli enmə baş verən hadisəni göstərir. Bu funksiya fərdin müəyyən bir gün üçün sağqalma ehtimalını hesablayır. Tibbi tədqiqatlarda adətən müalicədən və ya diaqnozdan sonra müəyyən bir müddət yaşayan xəstələrin hissəsini ölçmək üçün istifadə edilir. Kaplan-Meier funksiyasının düsturu aşağıdakı kimi ifadə edilir:

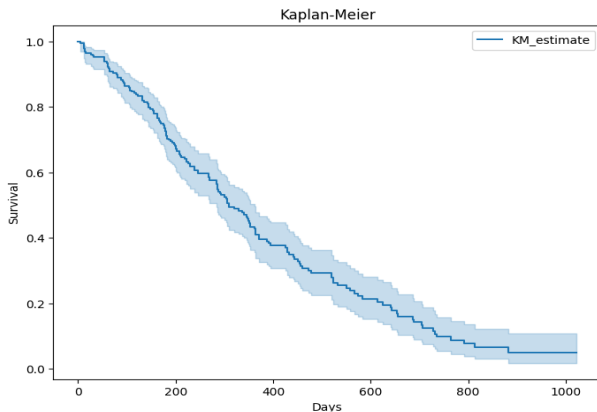
$$S(t_i) = S(t_{i-1}) \times \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right)$$

burada $S(t_i)$ - t_i -ci anda sağqalma ehtimalıdır, d_i - i -ci anda baş verən hadisələrin sayıdır, n_i - i -ci anda sağ qalan pasiyentlərin sayıdır.

Kaplan-Meier düsturu hər hansı şəxsin t_i -ci anda sağqalma ehtimalının t_{i-1} -ci anda sağqalma ehtimalından asılılığını göstərir.

Tibbi tədqiqatlarda real ssenarilərin əksəriyyətində sağqalma şansı adətən zamandan asılı olaraq aşağı düşür. Məsələn, insan nə qədər uzun müddət xəstə olarsa, onun sağqalma ehtimalı müalicə olunmadıqda bir o qədər aşağı olar. Kaplan-Meier düsturu onu göstərir ki, sağqalma ehtimalı zamandan asılı olaraq kiçilməyə doğru hərəkət edir. Yanaşmada fərz edilir ki, əgər şəxs x -ci günə qədər sağ qalıbsa, deməli o əvvəlki günlərin hər birində də sağ qalmalı idi. Bugünün sağqalma ehtimalı dünyanın sağqalma ehtimalından kiçik və ya bərabərdir. Bütün bu gündəlik ehtimalları bir-birinə vurduqda ümumi sağqalma əyrisi alınır.

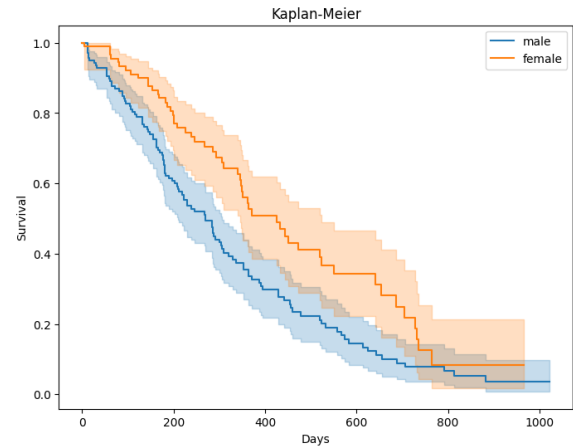
Ağciyər xərçəngi olan insanlar haqqında toplanmış verilənlər üzərində Kaplan-Meier funksiyasını tətbiq etdikdə aşağıdakı qrafik alınmışdır [10].



Şəkil 1. Kaplan-Meier əyrisi [10].

Bu əyri sağqalma ehtimalının zamana görə necə dəyişdiyini göstərir. İlk mərhələdə sağqalma ehtimalı yüksəkdir, daha sonra sürətlə aşağı düşməyə cəhd edir. Yəni daha çox insanın ölməsi sağqalma ehtimalını azaldır. Bu əyridən göründüyü kimi 5% insan müəyyən zaman periodundan sonra sağ qala bilmişdir. Həmin oblasta qədər olan insanlar isə dünyadan köçmüşdür, ya da sağala bilməmişdir.

Ağciyər xərçəngi olan insanlar haqqında toplanmış verilənlər üzərində Kaplan-Meier funksiyası qadın və kişilər üçün də fərqli nəticələr göstərmişdir (Şəkil 2).



Şəkil 2. Qadın və kişilərə nəzərən çəkilmiş Kaplan-Meier əyrisi [10].

Qeyd edək ki, sağqalma təhlilinin Kaplan-Meier üsulundan başqa loqarifmik sıralama testləri (log-rank tests) və Koks nisbətlı risklər (Cox proportional hazards) adlı modelləri də geniş istifadə edilir [11].

Senzura (Censoring). Hadisənin baş vermə vaxtının dəqiq məlum olmadığı situasiyaları əks etdirir.

Risk Funksiyası (Hazard function). Vaxtdan asılı olaraq ölüm riskini müəyyən edən funksiyadır.

IV. SÜNİ INTELLEKT ƏSASLI SAĞQALMA TƏHLİLİ ÜSULLARI

Müasir səhiyyə və tibbi tədqiqatların aparılmasında əhəmiyyətli rol oynayan süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili üsulları ənənəvi statistik modellərlə müqayisədə daha yüksək dəqiqliklə nəticə əldə etməyə imkan verir.

Bu modellər xüsusən böyük verilənlər üzərində işləyərkən əlverişli hesab edilir. Bu növ üsullar, xəstəliklərin inkişafı, müalicə cavabları və xəstələrin sağqalma ehtimalları barədə daha dəqiq məlumatlar əldə etməyə imkan verir. Süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili üsullarına aşağıdakıları aid etmək olar [11]:

Random Survival Forest (RSF) Təsadüfi Meşənin xüsusi olaraq sağqalma analizi üçün hazırlanmış bir növüdür. RSF-də hər bir qərar ağacı sağqalma ağacı qurur və ağacda hər bir qovşadakı nümunələrin sağqalma ehtimalını Kaplan-Meier modeli qiymətləndirir.

Gradient Boosting Survival Analysis (GBSA). Sağqalma məlumatlarını modelləşdirmək üçün gradient boosting modellərindən istifadə edən sağqalma təhlili əsaslı maşın təlimi yanaşmasıdır. GBSA modelində itki funksiyası olaraq Koks modelinin loqarifmik ehtimalı istifadə edilir.

Fast Survival SVM. SVM alqoritminin modifikasiyasıdır, xüsusi olaraq sağqalma təhlili üçün modelləşdirilmişdir.

FastSurvivalSVM modelində itki funksiyası olaraq Cox tipli loqarifmik ehtimal istifadə edilir.

V. EKSPERIMENTLƏR

Sağqalma təhlilinin aparılması adətən tədqiqat məsələsində müddətlə bağlı komponent olduqda mümkün olur. Sağqalma təhlili hər hansı hadisə ilə onun baş verdiyi vaxt arasında qarşılıqlı əlaqələrin müəyyən edilməsi tələb olunan məsələlərdə tətbiq olunur.

Ekspirimentlərin aparılması üçün [12] verilənlər bazası istifadə edilmişdir. Verilənlər bazasında 2 nəticə çıxarma parametrləri (əlamətləri) istifadə edilmişdir: 1) event (hadisə - öldü/sağ qaldı), vaxt (nə qədər vaxt qaldı). İstifadə edilmiş verilənlər bazasının strukturu Şəkil 3-də göstərilmişdir.

Unnamed: 0	inst	time	status	age	sex	ph.ecog	ph.karno	pat.karno	meal.cal	wt.loss	
0	1	3.0	306	1	74	1	1.0	90.0	100.0	1175.0	NaN
1	2	3.0	455	1	68	1	0.0	90.0	90.0	1225.0	15.0
2	3	3.0	1010	0	56	1	0.0	90.0	90.0	NaN	15.0
3	4	5.0	210	1	57	1	1.0	90.0	60.0	1150.0	11.0
4	5	1.0	883	1	60	1	0.0	100.0	90.0	NaN	0.0

Şəkil 3. NCCTG verilənlər bazasının strukturu

Verilənlər bazasının əlamətləri haqqında məlumat aşağıda verilmişdir.

CƏDVƏL 1. NCCTG VERİLƏNLƏR BAZASININ ƏLAMƏTLƏRİ

Əlamətlər	Şərh
inst	Xəstənin müşahidə edildiyi müəssisənin kodu
time	Xəstənin sağ qaldığı və ya senzura məruz qaldığı günlər
status	Senzura statusu (0 = senzura, 1 = öldü)
age	Xəstənin illərlə ifadə olunan yaşı
sex	1 = Kişi, 2 = Qadın
ph.ecog	ECOG performans (0 - 4; 0 = asimptomatik, 4 = yatağa bağlı)
ph.karno	Həkim tərəfindən qiymətləndirilmiş performans balı (Karnofski) (0 = pis, 100 = yaxşı)
pat.karno	Yuxarıdakı kimi, lakin xəstə tərəfindən qiymətləndirilib
meal.cal	Yemək zamanı istehlak edilən kalorilər
wt.loss	Son altı ayda itirilən çəki (lbs.) miqdarı

Sağqalma təhlilinin aparılması üçün ənənəvi maşın təlimi modellərindən fərqli olaraq 2 hədəf dəyişənlər istifadə edilir. Burada y hədəf dəyişəni elə bölünməlidir ki, hadisəni əks etdirən indikatorun qiyməti bu ədəd, vaxtı göstərən indikatorun qiyməti sürüşkənvergüllü ədəd olmalıdır. Bizim yanaşmada bu iki dəyişən qismində **status** və **time** parametrləri götürülmüşdür. Verilənlər bazasını 228 nümunə təşkil edir. Bu nümunələrdən 182 nümunə təlim üçün, 46 nümunə test üçün istifadə edilmişdir.

Tibbi verilənlər üzərində sağqalma təhlilinin aparılması üçün Random Survival Forest, Gradient Boosting Survival Analysis, Fast Survival SVM, Fast Kernel Survival SVM alqoritmlərindən istifadə edilmişdir. Bu alqoritmlərin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün C-indeksindən (concordance index) və Əyri Altındakı Sahə (ing. Area Under the Curve, AUC) metrikasından istifadə edilmişdir. Qurulmuş alqoritmlərin NCCTG Lung Cancer Data verilənlər bazası üzərində C-index və AUC metrikası əsasında test nəticələri Cədvəl 2-ə əlavə edilmişdir.

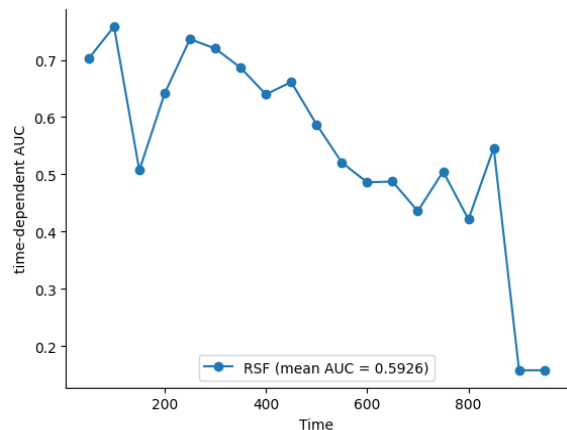
CƏDVƏL 2. ALQORITMLƏRİN TEST NƏTİCƏLƏRİ

Alqoritmlər	C-index score	Mean AUC score
Random Survival Forest	0.6248	0.5926
Gradient Boosting Survival Analysis	0.6251	0.5891
Fast Survival SVM	0.6452	0.5988
Fast Kernel Survival SVM	0.5352	0.4608

Cədvəldən göründüyü kimi Fast Survival SVM modeli digər modellərlə müqayisədə daha yüksək nəticə göstərmişdir. Belə ki, Fast Survival SVM modelinin C-indeks qiyməti 0.6452 olduğu halda Random Survival Forest, Gradient Boosting Survival Analysis və Fast Kernel Survival SVM modellərinin qiymətləri uyğun olaraq 0.6248, 0.6251 və 0.5352 olmuşdur.

C-indeksinin qiymətinin 0.5-dən yuxarı olması proqnozlaşdırma modelinin yaxşı olduğunu göstərir. C-index modelin ümumi effektivliyini qiymətləndirir. Müxtəlif vaxt nöqtələrində modelin effektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün isə *cumulative dynamic AUC* metrikasından istifadə edilir.

RSF modelinin effektivliyinin *cumulative dynamic AUC* metrikası əsasında qiymətləndirilməsinin vizual təsviri aşağıdakı şəkildə verilmişdir.



Şəkil 4. RSF modelinin AUC əyrisi.

Şəkildən göründüyü kimi modelin orta AUC qiyməti 0.5926 olmuşdur.

Qeyd edək ki, Random Survival Forest modelinin illər üzrə dəyişkən qiymətlər almasına verilənlər bazasının ayrı-ayrı əlamətləri təsir edir. Bu əlamətləri müəyyən etmək üçün

Permutation Importance funksiyasından istifadə edərək əlamətlərə çəki əmsalları hesablayaq. Hesablanmış çəki əmsallarının qiymətləri Cədvəl 3-də verilmişdir.

CƏDVƏL 3. RANDOM SURVIVAL FOREST ÇƏKİLƏRİ

Weight	Feature
0.0430 ± 0.0427	sex
0.0364 ± 0.0489	pat.karno
0.0149 ± 0.0443	ph.ecog
0.0061 ± 0.0381	age
0.0014 ± 0.0152	Unnamed: 0
-0.0050 ± 0.0177	inst
-0.0061 ± 0.0291	wt.loss
-0.0070 ± 0.0162	meal.cal
-0.0182 ± 0.0307	ph.karno

Cədvəldən göründüyü kimi sex, pat.karno, ph.ecog Random Survival Forest modelinin nəticələrinə təsir edən əsas əlamətlərdir.

Gradient Boosting Survival Analysis modelinin nəticələrinə sex, pat.karno, wt.loss, ph.ecog əlamətləri təsir etmişdir.

CƏDVƏL 4. GRADIENT BOOSTING SURVIVAL ANALYSIS ÇƏKİLƏRİ

Weight	Feature
0.0626 ± 0.0560	sex
0.0451 ± 0.0460	pat.karno
0.0416 ± 0.0526	Unnamed: 0
0.0260 ± 0.0368	wt.loss
0.0101 ± 0.0280	ph.ecog
0.0053 ± 0.0417	age
-0.0022 ± 0.0331	inst
-0.0092 ± 0.0183	meal.cal
-0.0116 ± 0.0289	ph.karno

NƏTİCƏ

Məqalədə ağciyər xərçəngi xəstələrinin yaşam müddətinin proqnozlaşdırılması üçün süni intellekt əsaslı sağqalma təhlili üsulları tədqiq edilmişdir. Qurulmuş alqoritmlərin real verilənlər bazası üzərində test nəticələrinin müqayisəli analizi aparılmışdır. Aparılmış eksperimentlər təklif edilən sağqalma modelləri və alqoritmlər ansamblının ənənəvi sağqalma təhlili üsulları ilə müqayisədə daha yüksək dəqiqliyə malik olduğunu

göstərir və bu istiqamətdə tədqiqatların davam etdirilməsini stimullaşdırır.

MINNƏTDARLIQ

Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № AEF-MCG-2023- 1(43)-13/04/1-M-04.

ƏDƏBİYYAT

[1] E.T. Lee, O.T. Go, “Survival analysis in public health research,” Annual Review of Public Health, vol 18., pp. 105-134, 1997.

[2] C. Kartsonaki, “Survival analysis,” Diagnostic Histopathology, vol. 22, no. 7, pp. 263–270, 2016.

[3] P. Nathan, J.C. Hassel, P. Rutkowski, “Overall Survival Benefit with Tebentafusp in Metastatic Uveal Melanoma,” N Engl J Med. Vol. 385, no. 13, pp. 1196–1206, 2021.

[4] T.G. Clark, M.J. Bradburn, S.B. Love, D.G. Altman, “Survival Analysis, Part I: Basic Concepts and first analyses,” Br J Cancer, vol. 89, no. 2, pp. 232–238, 2003.

[5] S. Gao, V.D. Calhoun, J. Sui, Machine learning in major depression: From classification to treatment outcome prediction, CNS Neurosci Ther, vol. 24, no. 11, pp. 1037–1052, 2018.

[6] V. Mhasawade, Y. Zhao, R. Chunara, Machine learning and algorithmic fairness in public and population health, Nat Mach Intell, vol. 3, no. 8, pp. 659–666, 2021.

[7] P. Doupe, J. Faghmous, S. Basu, “Machine Learning for Health Services Researchers,” Value in Health, vol. 22, no. 7, pp. 808–15, 2019.

[8] R. Singh, K. Mukhopadhyay, “Survival analysis in clinical trials: Basics and must know areas,” Perspect Clin Res, vol. 2, no. 4, pp. 145–148, 2011.

[9] T. Smith, B. Smith, “Survival analysis and the application of Cox’s proportional hazards modeling using SAS,” Proceedings of the Twenty Sixth Annual SAS Users Group International Conference, 2001, pp. 22-25.

[10] R. Lyu, Survival Analysis of Lung Cancer Patients from TCGA Cohort, Advances in Lung Cancer, vol. 9, pp. 1-15, 2020.

[11] R. Sonabend, A. Bender, “Machine Learning in Survival Analysis,” 2025, p. 229.

[12] NCCTG lung cancer data set, <https://monolixsuite.slp-software.com/monolix/2024R1/ncctg-lung-cancer-data-set>

Data Elminin Tətbiqi ilə Ölkə Üzrə Tibbi Kadr Potensialının Vəziyyətinin Analizi və Beynəlxalq Səviyyədə Müqayisələr

Məkrufə Hacırahimova¹, Aybəniz Əliyeva², Mərziyə İsmayilova³

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹hmakrufa@gmail.com, ²aliyeva.a.s@mail.ru, ³imarziya@gmail.com

Xülasə— Bu tezisdə əsas səhiyyə göstəriciləri üzrə Azərbaycanda tibbi kadr potensialının mövcud vəziyyəti təhlil olunur və problemlər vurğulanır, beynəlxalq səviyyədə müqayisələr aparılır. Data elminin və analitikanın səhiyyə sahəsindəki irəliləyişlərdə təsirləri araşdırılır. Tibbi problemlərin aradan qaldırılmasında Data elminin istifadə etdiyi süni intellekt, Big data analitika, Maşın təlimi, Dərin təlim və s. kimi müasir texnologiyalardan bəhs olunur, mövcud elmi tədqiqatların qısa icmalı təqdim olunur. Tədqiqatda həmçinin maşın təlimi modeli əsasında Azərbaycanda tibbi insan resurslarının bəzi tibbi göstəricilər üzrə proqnozlarının nəticələri verilir.

Açar sözlər— səhiyyə; tibb; tibbi kadrlar; insan resursları; data elmi; data alimləri

I. GİRİŞ

Son dövrlər səhiyyə xidmətləri dünya iqtisadiyyatının sürətlə inkişaf edən sektorlarından biridir. Tibbi kadrlar isə səhiyyənin əsas aparıcı qüvvəsidir – insan resurslarıdır və bu, regionlar və dünya ölkələri arasında hiss ediləcək dərəcədə dəyişir. Səhiyyə xidmətlərinin əlçatanlığı, əhalinin səhiyyə xidmətləri ilə əhatə olunma səviyyəsi və onların keyfiyyəti əsasən ixtisaslı tibbi kadrların mövcudluğundan asılıdır. Bunu global miqyasda COVID-19 pandemiyası da sübut etdi. Pandemiya müddətində səhiyyə xidmətlərinin pozulmasının əsas səbəbi tibbi kadr çatışmazlığı olub. Dünyada tibbi kadr çatışmazlığı global səhiyyə sistemləri üçün dərin təsirləri olan kritik problemdir. Belə ki, tibbi kadr çatışmazlığı və ya qeyri-bərabər paylanması, ucqar, az məskunlaşan və daha yoxsul regionlarda tibbi mütəxəssislərin işə götürülməsi və saxlanması bir çox ölkələr üçün ciddi problemdir.

Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) məlumatına görə, dünyada 4,3 milyon həkim, tibb bacısı və digər səhiyyə işçisi çatışmazlığı var. Bu çatışmazlıq inkişaf etməkdə olan ölkələrdə tibbi fakültə və ixtisasların məhdud sayı və imkanları səbəbindən ən kəskin şəkildə müşahidə olunmaqdadır. Bu çatışmazlıqlar nəticə etibarilə səhiyyənin keyfiyyətinə təsir edir, tibbi personalın iş yükünü artırır, həkim-xəstə qarşılıqlı əlaqəsində vaxt məhdudiyyətləri yaradır və s. 2030-cu ilə qədər bütün dünyada, ilk növbədə aşağı və orta gəlirli ölkələrdə 10 milyon tibb işçisi çatışmazlığının olacağı təxmin edilir. Əhalinin qocalması tendensiyası özünü işçi qüvvəsinin yaş tərkibində əks etdirir, səhiyyə sisteminin kadr potensialının doldurulması problemini kəskinləşdirir. Qeyd etmək lazımdır

ki, hazırda həkimlərin üçdə birindən çoxu 55 yaşdan yuxarıdır [1]. İş şəraitinin yaxşılaşdırılması və daha yaxşı karyera imkanları axtarışında olan həkimlər getdikcə daha yüksək gəlirli ölkələrə miqrasiya etdikləri üçün qeyri-bərabər bölgü daha da ağırlaşır. Bu problem daha çox beynəlxalq miqrasiya köməyi ilə həll edilir. 2025-ci ilə qədər həkimlərə tələbatın 17 faiz artacağı proqnozlaşdırılmışdır ki, bu da ilk növbədə əhalinin sayının artması və əhalinin qocalması ilə əlaqədardır. 18 yaşdan aşağı əhalinin 5%, adətən həkimlərdən daha çox qayğıya ehtiyacı olan 65 yaşdan yuxarı yaşlı əhalinin 41% artacağı proqnozlaşdırılır [2].

Bu gün Azərbaycanda tibb işçiləri arasında ciddi kadr çatışmazlığı olmasa da, bəzi ixtisaslar (*infeksionist, anestezioloq, təcili yardım xidməti üçün həkimlər və s.*) üzrə bu problem mövcuddur. Bu vəziyyət COVID-19 pandemiyası dövründə daha çox diqqət çəkdi.

Azərbaycan Respublikasının səhiyyə sistemində aparılan islahatlar prosesində əhaliyə göstərilən tibbi xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması mühüm və vacib məsələlərdən biridir. Məlumdur ki, hər bir tibb müəssisəsində, ümumilikdə isə bütün səhiyyə sistemində göstərilən tibbi xidmətin səmərəliliyinə təsir edən vacib və əsas faktorlardan biri tibb müəssisələrinin kadr təminatı və tibb işçilərinin peşəkarlıq səviyyəsi, yüksək ixtisaslı kadr hazırlığıdır ki, ölkəmizdə də buna çox böyük önəm verilir. Bu problemin həlli istiqamətində 2010-2014-cü illər üçün Azərbaycan Respublikasının səhiyyə müəssisələrində tibbi kadr təminatı üzrə İnkişaf Proqramı qəbul edilmişdir [3]. Proqramın əsas məqsədi Azərbaycan Respublikasının kənd yerlərində tibbi kadr çatışmazlığı probleminin növbəti illərdə həllindən, vəzifələri isə tibbi kadrların kənd yerlərində tələbata uyğun işlə təminatı; kənd yerlərində əhaliyə göstərilən tibbi xidmətin keyfiyyətinin yüksəldilməsi; tibbi mütəxəssislərin maddi və sosial təminatının yaxşılaşdırılması; gənc mütəxəssislərə ucqar kəndlərdə yerləşən tibb müəssisələrində çalışmaq üçün həvəsləndirmə sisteminin yaradılması və s. ibarətdir. Digər bir hüquqi sənəd - “Azərbaycan 2020: gələcəyə baxış” inkişaf konsepsiyası çərçivəsində insan kapitalının inkişafı sahəsində ölkədə əhalinin keyfiyyətli səhiyyə və təhsil xidmətləri ilə təmin edilməsi əsas strateji xətt olaraq ön plana çəkilir. Səhiyyə sahəsində kadr təminatının təkmilləşdirilməsi ən vacib məsələ kimi diqqət mərkəzində olacağı, tibb mütəxəssislərinin bilik və bacarıqlarının daim yüksəldilməsi üçün müvafiq mexanizmlər yaradılacağı, o cümlədən xarici ölkələrdə təlimlər təşkil

ediləcəyi, kənd yerlərində işləyən həkim və orta tibb işçiləri üçün təşviqləndirici maddi təminat mexanizmləri müəyyənləşdiriləcəyi və s. vurğulanır [4].

E-tibbdə böyük tibbi məlumatların toplanması, emalı, məxfiliyinin təmin edilməsi, böyük həcmli məlumatlardan faydalı məlumat çıxarmaq üçün multidissiplinar Data elminin riyaziyyat, statistika, informatika sahələri metodlarını istifadə və idarə edə bilən tibbi mütəxəssislərin - tibbi informatiklər (health informaticians – HI); tibbi informasiya menecerlərinin (health information management – HIM) formalaşdırılması xüsusilə ölkəmiz üçün vacib məsələlərdəndir [5, 6].

Azərbaycan səhiyyə sistemində aparılan islahatlar - tibbi təhsildə rezidenturanın tətbiqi, tibb işçilərinin sertifikatı və mərkəzləşmiş imtahanla işə qəbulu da məhz buna xidmət edir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, həkimlərimiz həm xarici ölkələrin klinikalarında, həm də Azərbaycana dəvət olunmuş aparıcı tibbi mütəxəssislər tərəfindən keçirilən təlimlərdə tibbi biliklərini təkmilləşdirməkdədirlər [7].

Tibbi sferada kadr təminatı ilə bağlı məsələlərin həm dünya, həm də ölkə miqyasında aktuallığını nəzərə alaraq, bu tədqiqatın əsas məqsədi dünyada və Azərbaycanda tibbi kadr potensialının mövcud vəziyyətini əsas tibbi göstəricilər üzrə təhlil etmək, beynəlxalq səviyyədə müqayisələr vermək, Data elminin və analitikanın səhiyyə sahəsindəki irəliləyişlərdə təsirlərini diqqətə çatdırmaq, həmçinin maşın təlimi əsasında Azərbaycanda tibbi insan resurslarının bəzi tibbi göstəricilər üzrə proqnozlarının nəticələrini təqdim etməkdir.

II. AZƏRBAYCANDA TIBBI KADR POTENSIALININ VƏZİYYƏTİNİN ANALİZİ

Azərbaycanda səhiyyə sistemində tibbi kadr potensialının mövcud vəziyyətinin analizi Dövlət Statistika Komitəsinin (DSK) ölkədəki tibbi müəssisələrdən toplanan və daim yenilənən məlumat bazası əsasında aparılır. Əlbəttə bu məlumatlar ÜST-ün göstəricilər sistemi əsasında formalaşdırılır [8].

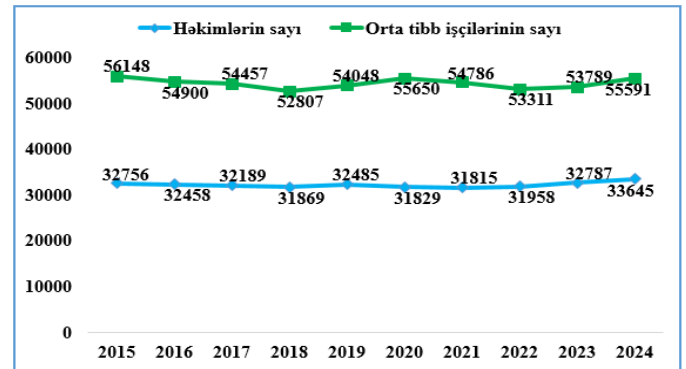
Onu da qeyd etmək lazımdır ki, ÜST bir neçə onilliklər ərzində üzv ölkələrin ictimai səhiyyə və səhiyyə sistemləri haqqında məlumat bazasını yaradır. Onun bölmələrindən biri tibb işçiləri (*həkimlər, orta tibb işçiləri, yardımçı tibbi heyət, reabilitasiya üzrə mütəxəssislər və s.*) haqqında hər il yenilənən məlumatlar əsasında formalaşır. Səhiyyə sistemi ilə bağlı məsələlər İqtisadi Əməkdaşlıq və İnkişaf Təşkilatının (Organization for Economic Co-Operation and Development - OECD) da gündəmində qalmaqdadır. Bu təşkilatın analitik işinin əsasını milli statistika xidmətlərindən, Avropa İttifaqının Statistika İdarəsindən (Avrostat) və BMT-dən alınan məlumatlar əsasında formalaşan, daim yenilənən məlumat bazası təşkil edir. Əlbəttə, bu məlumat bazalarındakı verilənlər reallığı tam əks etdirmir, buna baxmayaraq, onlar dünyanın müxtəlif regionlarında və ölkələrində səhiyyə sektorunun insan resursları potensialı və onlar arasında mövcud olan fərqlər haqqında ümumi təsəvvür yaradır.

A. Səhiyyənin əsas göstəriciləri üzrə tibbi kadrlarda vəziyyətin analizi

Tədqiqatımızda təhlillər səhiyyənin bəzi göstəriciləri üzrə aparılmışdır:

- bütün ixtisaslardan olan həkimlərin sayı, min nəfər;
- əhalinin hər 10000 nəfərinə düşən həkimlərin sayı
- orta tibb işçilərinin sayı, min nəfər;
- əhalinin hər 10000 nəfərinə düşən orta tibb işçilərinin sayı;
- xəstəxana müəssisələrinin sayı;
- onlarda cərpayılarının sayı, min;
- əhalinin hər 10000 nəfərinə düşən cərpayılarının sayı.

Tibbi kadrların sayı səhiyyənin əsas göstəricilərindəndir. Şək. 1-də DSK-nın məlumatı əsasında, 2015-2024-cü illər üzrə Azərbaycanda bütün ixtisaslardan olan həkimlərin və orta tibb işçilərinin sayı qrafik olaraq göstərilmişdir.

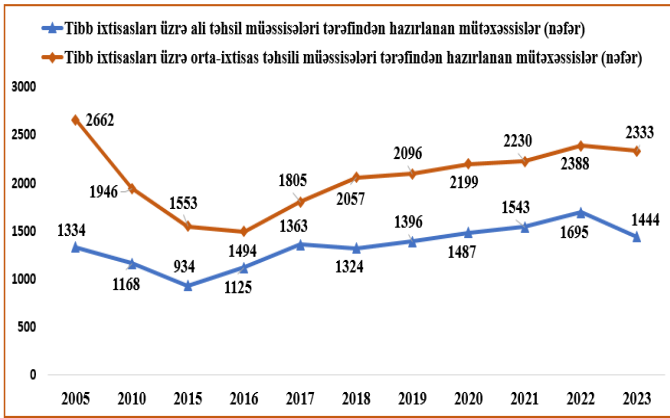


Şəkil 1. Azərbaycanda həkimlərin və orta tibb işçilərinin ümumi sayı

Qrafikdən də göründüyü kimi 2015-ci ildə bütün ixtisasdan olan həkimlərin sayı 32756 nəfər olduğu halda növbəti illərdə azalma meylləri müşahidə olunur. Ancaq 2023-cü ildə cüzi, 2024-cü ildə isə 889 nəfər artdığı görünür. Orta tibb işçilərinin sayında isə ümumiyyətlə azalma baş vermişdir. Ümumiləşmə edərək deyə bilərik ki, 2015-2024-cü illər arasında Azərbaycanda tibbi kadrların azalması meylləri müşahidə olunmaqdadır. Azərbaycanda əhalinin hər 10 min nəfərinə düşən həkimlərin və orta tibb işçilərinin sayı göstəricisi üzrə vəziyyət şək. 2-də verilmişdir. Bu göstərici üzrə də azalma tendensiyası müşahidə olunmaqdadır. Həkim və orta tibb işçilərinin nisbəti isə son beş ildə: 2020-ci ildə 1:1.7(31.9x55.8), 2021-də 1:1.7(31.7x54.6), 2022-də 1:1.6 (31.8x53.0), 2023-də 1:1.6 (32.4x53.1), 2024-də isə 1:1.6 (33.0x54.6) olmuşdur. Bu dinamikada sabillik müşahidə olunur.



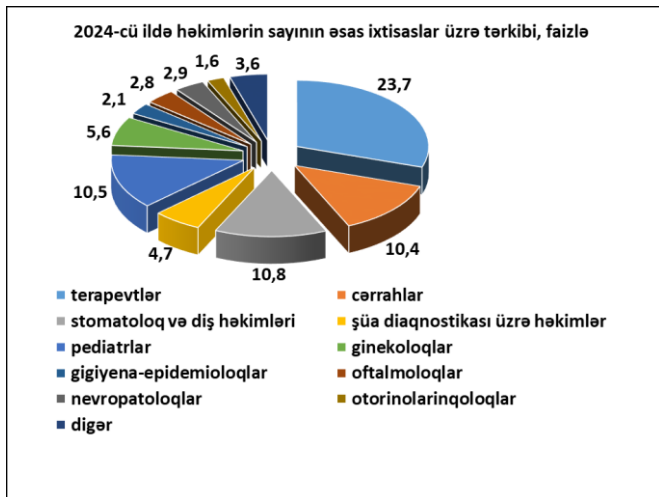
Şəkil 2. Azərbaycanda əhalinin hər 10000 nəfərinə düşən həkimlərin və orta tibb işçilərinin sayı.



Şəkil 3. Tibbi ixtisaslar üzrə ali təhsil və orta ixtisas müəssisələrindən hazırlanan mütəxəssislərin sayı.

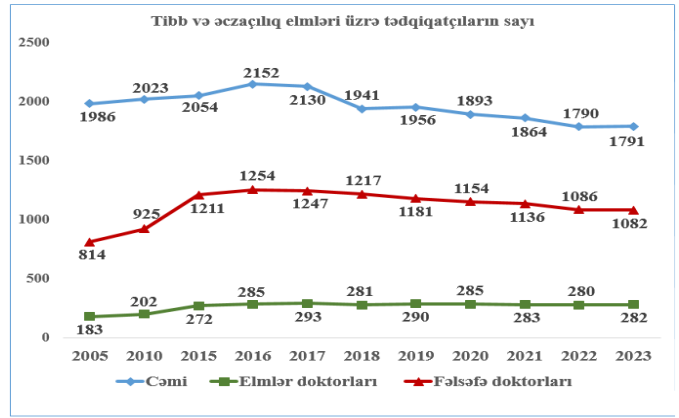
Ölkədə tibbi ixtisaslar üzrə orta ixtisas və ali təhsil müəssisələrindən hazırlanan mütəxəssislər üzrə vəziyyət şəkil 3-də təqdim olunmuşdur. Qrafikdən aydın görmək olur ki, 2005-ci ildən başlayaraq 2015-ci ilə qədər həm orta ixtisas, həm də ali təhsil müəssisələrində hazırlanan mütəxəssislərin sayında kəskin azalma meylləri olub. 2015- 2022-ci illərdə isə nisbətən hər iki müəssisələr üzrə artma halları müşahidə olunur. Belə ki, 2015-ci ildə orta ixtisas müəssisələrində hazırlanan mütəxəssislərin sayı 1553, 2022-ci ildə bu say 835 fərqlə 2388-ə çatmışdır. 2023-cü ildə isə yenidən azalma baş vermişdir. Ali təhsil müəssisələrində üzrə də eyni vəziyyət müşahidə olunmaqdadır. Belə ki, 2005-ci ildə 1334, 2015-ci ildə cəmi 934 mütəxəssis hazırlanmışdır. Sonrakı illərdə qismən artaraq 2022-ci ildə 1695 nəfərə çatmışdır. Lakin 2023-cü ildə yenidən azalma meylli baş vermişdir.

Şəkil 4-də isə 2024-cü ildə həkimlərin tibbi ixtisaslar üzrə paylanması diaqramı verilmişdir. Diaqramdan da göründüyü kimi terapevtlər həkimlərin ümumi sayının 23.7, stomatoloqlar 10.8, pediaterlər 10.5, oftalmoloqlar 10.4 faizini təşkil edirlər.



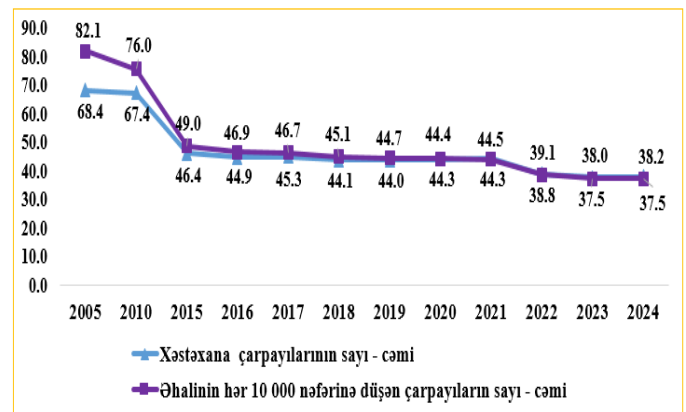
Şəkil 4. Həkimlərin tibbi ixtisaslar üzrə paylanması.

Tədqiqatlar zamanı 2005-2023-cü illərdə tibb elmləri sahəsində tədqiqatçılar üzrə vəziyyətin analizinə də diqqət yetirilmişdir. Bu sahədə vəziyyət şəkil 5-də təqdim olunur.



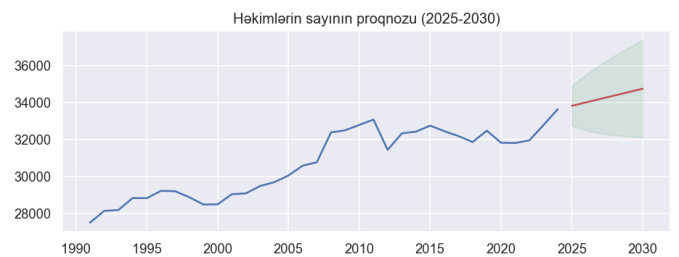
Şəkil 5. Tibb elmləri üzrə tədqiqatçıların sayı.

Azərbaycanda 2005-2024-cü illər ərzində xəstəxana çarpayılarının və əhalinin hər 10 min nəfərinə düşən çarpayı sayı üzrə vəziyyəti şəkil 6-da əks etdirilir. Bu göstərici üzrə də azalma tendensiyası müşahidə olunur.

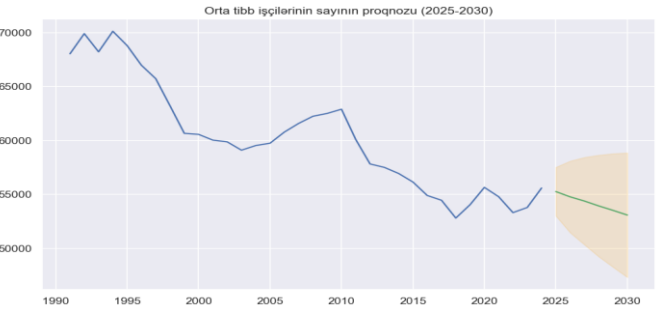


Şəkil 6. Xəstəxana çarpayılarının və əhalinin hər 10 min nəfərinə düşən çarpayı sayı.

Ölkə üzrə tibbi kadrların say göstəriciləri üzrə apardığımız təhlillərin sonunda DSK-nın məlumatları (1990-2024) əsasında növbəti illərdə (2025-2030) həkimlərin və orta tibb işçilərinin sayındakı tendensiyanı proqnozlaşdırmaq üçün PYTHON proqram platformasında tərəfimizdən ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) modelindən istifadə etməklə eksperimentlər aparılmışdır. Eksperimentlərdə 1990-2024-cü illəri əhatə edən verilənlər istifadə olunmuşdur. Verilənlərin 80 faizi təlim, 20 faizi isə test üçün ayrılmışdır. Testin nəticələri uyğun olaraq şəkil 7 və şəkil 8-də təqdim olunmuşdur. Növbəti 6 ildə həkimlərin sayında artım, orta tibb işçilərinin sayında azalma müşahidə olunur.



Şəkil 7. 2025-2030-cu illər üçün həkimlərin sayının proqnozu.



Şəkil 8. 2025-2030-cu illər üçün orta tibb işçilərinin sayının proqnozu.

B. Tibbi İnformatika

Müasir dövrdə qlobal çağırışlar, IV sənaye inqilabı və rəqəmsal transformasiyalar kontekstində kompüter elmlərinin tibbdə tətbiqi ilə əlaqədar olaraq bu iki elm sahəsi arasında körpü yarada biləcək yüksəkixtisaslı kadrların yetişdirilməsi son dərəcə vacib və aktual məsələ olaraq önə çıxmışdır.

CƏDVƏL 1. SƏHIYYƏ İNFORMATİKASI İLƏ DİGƏR ƏLAQƏDAR SAHƏLƏR ARASINDAKI FƏRQLƏR

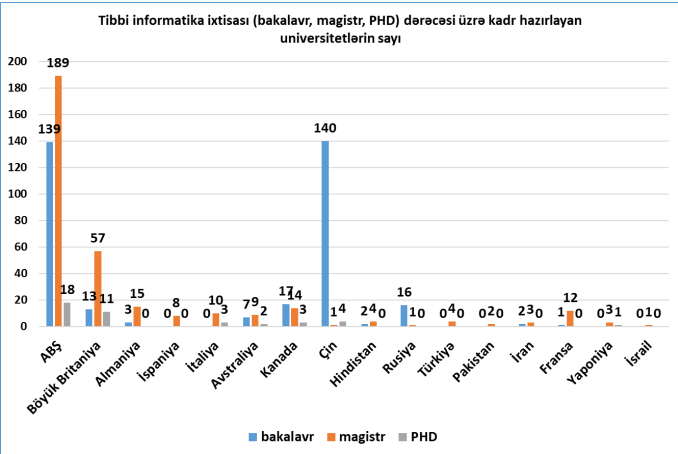
Aspekt	Səhiyyə informatikası (Health Informatics)	Bioinformatika (Bioinformatics)	Səhiyyə Məlumatının İdarə Edilməsi (Health Information Management- HIM)
İlkin fokus	Xəstəyə qulluq və sağlamlıq nəticələrini yaxşılaşdırmaq üçün texnologiya və məlumat sistemlərindən istifadə, EHR sistemləri, sağlamlıq məlumatlarının analitikası, klinik qərar dəstəyi, teletibb meneceri	Tədqiqat və dərman inkişafı üçün bioloji /genomik məlumatların təhlili	Sağlamlıq yazılarının toplanması, təşkili və mühafizəsi
Rolları	Səhiyyə İnformatikası Mütəxəssisi, Klinik Məlumat Analitiki, Səhiyyə IT Meneceri	Bioinformatika üzrə alim, hesablama biologu, genomik məlumatların analitiki	Tibbi kodlaşdırma, sənədləşdirmə, sağlamlıq məlumatlarına uyğunluq
İş yerləri	Xəstəxanalar, texnoloji firmalar, tədqiqat institutları, səhiyyə proqram təminatı şirkətləri, sığorta şirkətləri	Tədqiqat laboratoriyaları, əczaçılıq şirkətləri, biotexnoloji firmalar, universitetlər	Klinikalar, xəstəxanalar, faktura və sığorta şirkətləri
Son məqsəd	Texnologiya və məlumatlardan istifadə edərək qayğı göstərilməsini təkmilləşdirmək. Məlumatlı qərar vermə yolu ilə daha yaxşı xəstə nəticələri	Bioloji anlayışları kəşf etmək və fərdiləşdirilmiş tibbi inkişaf etdirmək	Sağlamlıq qeydlərinin dəqiq, təhlükəsiz və uyğun olduğundan əmin olmaq

ABŞ Əmək Statistika Bürosunun (Bureau of Labor Statistics - BLS) məlumatına görə, səhiyyə informatikası rolları da daxil olmaqla, tibb və səhiyyə xidmətləri menecerlərində məşğulluğun 2022-ci ildən 2032-ci ilə qədər 28% artacağı gözlənilir ki, bu da bütün peşələr üzrə orta göstəricidən daha yüksəkdir.

ABŞ kompüter elmləri sahəsində lider ölkə olmaqla, kompüterlərin tibbdə ilk istifadəsi də bu ölkədə reallaşmışdır. Belə ki, ABŞ Milli Səhiyyə İnstitutu dünya tarixində kompüterləri milli səhiyyə sisteminin kompüterləşdirilməsi vasitəsilə biologiya və təbabətə tətbiqinə ilk böyük cəhdi etmişdir. [9] bir neçə onilliklər ərzində tibbi informatika sahəsində əsas elmi-nəzəri əsər olaraq qalmışdır. Dünyanın bir sıra, xüsusilə də inkişaf etmiş ölkələrində yeni tibbi ixtisaslar üzrə kadr hazırlandığı məlumdur (şəkil 9). [6, 7]-də də qeyd olunduğu kimi ölkəmizdə isə Azərbaycan Tibb Universitetində “Tibbi fizika və informatika” kafedrası, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində “Biotibbi texnologiya mühəndisliyi” ixtisası üzrə kadr hazırlanır. Lakin tibbi informatika ixtisası üzrə kadr hazırlığı yoxdur. Bu, kadrların hazırlanması səhiyyənin informasiyalaşdırılması, elektron tibbin inkişafı baxımından önəmlidir.

Səhiyyə xidmətlərinin göstərilməsi və nəticələri yaxşılaşdırmaq üçün texnologiya və məlumatlardan istifadə edən bir neçə ixtisaslaşmış (Səhiyyə İnformatikası və Bioinformatika, Sağlamlıq Məlumatının İdarə Edilməsi) sahələr meydana çıxdı. Bu fənlər bəzi ümumi elementləri bölüşsələr də, metodologiyalarında əhəmiyyətli dərəcədə fərqlər vardır. Fərqlərin qısa icmalı cədvəl 1-də verilmişdir.

Elektron Sağlamlıq Qeydlərinə (Elektronic Health Record - EHR) keçid, teletibbin yüksəlişi və məlumatlara əsaslanan səhiyyənin artan əhəmiyyəti bu sahəni inanılmaz dərəcədə aktual edir. Səhiyyə və texnologiya kəsişməyə davam etdikcə, Səhiyyə İnformatikası ABŞ-da ən çox tələb olunan sahələrdən birinə çevrilir. EHR-in idarə edilməsindən tutmuş xəstələrin nəticələrini yaxşılaşdırmaq üçün süni intellektdən istifadəyə qədər tibbi informatika üzrə mütəxəssislərin rolu qlobal səhiyyə sistemlərinin gələcəyi üçün çox vacibdir.



Şəkil 9. Tibbi informatika üzrə mütəxəssis hazırlayan ölkələrdə universitetlərin sayı.

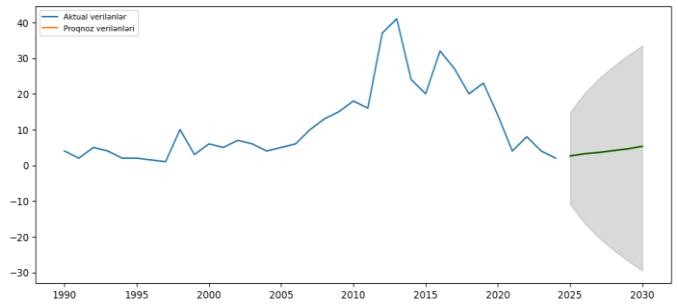
ABŞ-da tibbi informatika üzrə magistraturanı bitirənlərin rolu və iş yerindən asılı olaraq əmək bazarında 70000-120000 dollar arasında orta əmək haqqı təklif olunmaqdadır.

C. Tibbi Kadrların Miqrasiyası

Qloballaşma prosesləri və dünya miqyasında səhiyyəyə tələbatın artması təkcə səhiyyə texnologiyaları bazarına təkan verməmiş, həm də səhiyyə sektorunda xarici işçi qüvvəsi üçün sərhədləri aşaraq nəticə etibarlı ilə tibb işçilərinin transsərhəd miqrasiyasına səbəb olmuşdur. Həkimlər iş şəraitinin yaxşılaşdırılması və daha yaxşı karyera imkanları axtarışında getdikcə daha yüksək gəlirli ölkələrə miqrasiya etdikləri üçün tibb işçilərinin qeyri-bərabər bölgüsü daha da ağırlaşmışdır [2].

Tədqiqatlar göstərir ki, Azərbaycanda son dövrlərdə daha çox ixtisaslı kadrların ölkədən getməsi prosesi sürətlənib. Ölkəni tərk edən ixtisaslı kadrlar arasında həkimlər, IT mütəxəssisləri və dəqiq elm sahəsi üzrə yüksək ixtisaslı kadrlar üstünlük təşkil edir. Təkcə 2022-ci ildə 1400-dən çox (son beş ildə 3 mindən çox) həkim Azərbaycandan Almaniyaya gedib. Bu isə ölkənin regionlarında tibbi kadrların çatışmazlığı ilə bağlı problemlər yaradır [10]. Rəsmi məlumatlara əlçatanlığın olmaması ORCID profil qeydlərindən əldə edilən rəqəmsal iz məlumatlarının istifadəsini aktuallaşdırır. ORCID məlumatları həkimlərin mənşəyi, ölkələri, təhsili, ixtisası və məşğulluğunun tərcümeyi-halını təqdim etdiyinə görə bu məlumatlardan onların mobilliyini izləmək mümkündür. Bu məlumatlardan 1990-2024-cü illər ərzində Azərbaycanlı ixtisaslı tibb işçilərinin miqrasiyanın (“beyin” axını) dinamikasını araşdırmaq üçün istifadə edilmişdir. Araşdırmalar göstərir ki, yüksək mobillik adətən ölkələrdə tibb sahəsinin inkişafı, universitetlərin nüfuzu və təhsil xərcləri, yüksək investisiya həcmi və təhsil səviyyəsi ilə əlaqələndirilir [10]. Qeyd edək ki, xarici ölkələrdə fəaliyyət göstərən həkimlərin böyük bir hissəsi Azərbaycanda tibb təhsilini başa vurduqdan sonra digər ölkələrdə ixtisaslaşma təhsili (rezidentura) alan şəxslərdir. ORCID məlumatları əsasında apardığımız təhlillər göstərdi ki, Türkiyə (207 nəfər), Almaniya (107 nəfər), ABŞ (28 nəfər), Rusiya (6 nəfər) və Böyük Britaniya (3) daxil olmaqla dünyanın 25 ölkəsində müxtəlif ixtisaslı 400 Azərbaycanlı həkimlər fəaliyyət göstərir. Bunlar müxtəlif tibbi ixtisas sahələrinə mənsubdurlar: cərrah (ümumi) ixtisası üzrə - 35, mama-ginekoloq - 23, pediatr - 22, kardioloq - 21, terapevt - 17 həkim olmaqla 65-dən çox tibbi ixtisas sahəsini əhatə edir. Cinsi tərkibinə görə 274-ü kişilərin, 126-sı isə qadınların payına düşür. Əlbəttə, bu real vəziyyəti tam əks etdirmir. ORCID bazasından topladığımız məlumatlar (400 nəfər) əsasında Azərbaycandan olan tibbi mütəxəssislərin növbəti 6 il ildə miqrasiyasının proqnozlaşdırmaq üçün PYTHON proqram platformasında tərəfimizdən ARIMA modelindən istifadə etməklə eksperimentlər aparılmışdır. Eksperimentlərdə 1990-2024-cü illəri əhatə edən verilənlər istifadə olunmuşdur. Verilənlərin 80 faizi təlim, 20 faizi isə test üçün ayrılmışdır. Testin nəticələri şəkl.10-da vizuallaşdırılmışdır. Növbəti 6 il ərzində tibbi miqrantların sayında cüzi artım müşahidə olunacaq.

Qeyd etmək lazımdır ki, xaricdə yaşayan və fəaliyyət göstərən yüksək ixtisaslı həkimlər arasında əməkdaşlıq əlaqələrinin genişləndirilməsi məqsədilə TƏBİB tərəfindən bir sıra proqram və layihələr həyata keçirilir. Məqsəd “beyin” ixracından “beyin” idxalına nail olmaqdır. İcbari Tibbi Sığorta Agentliyi tərəfindən “2022-2023-cü illər üçün tibb müəssisələrində kadr çatışmazlığının aradan qaldırılması Proqramı”nın həyata keçirilməsi yüksək ixtisaslı həkimlərin müəyyən qisminin ölkəyə qayıtmasına imkan yaratmışdır.



Şəkil 10. 2025-2030-cu illər üçün tibbi mütəxəssislərin miqrasiyası.

III. BEYNƏLXALQ MÜQAYISƏLƏR

Dünyada tibbi kadr sahəsində vəziyyət necədir?

Mövcud statistika ÜST üzv dövlətlərinin 40%-dən çoxu əhalinin hər 10 min nəfərinə 10-dan az, 26%-dən çoxu 3-dən az həkimə malik olduğunu göstərir. Bir sözlə səhiyyə işçiləri bütün dünyada qeyri-bərabər paylanmışdır. Belə ki, ehtiyacı ən az olan ölkələrdə ən çox tibb işçisi var, ən çox xəstəlik yükü olan ölkələr isə daha az səhiyyə işçi qüvvəsi ilə kifayətlənirlər. Afrika Bölgəsi qlobal xəstəlik yükünün 22%-dən çoxunu çəkir, lakin tibb işçilərinin yalnız 3%-nə və dünya maliyyə resurslarının 1%-dən azına çıxışı var [11].

ÜST üzv dövlətlərinin 55%-dən çoxu hər 10 min əhaliyə 40-dan az tibb bacısı və mama işçisinin olduğunu bildirir (təxminən 23%-i 10-dan az olduğunu bildirir). Bir çox ölkələrdə tibb bacıları və mamalar milli səhiyyə işçi qüvvəsinin 50%-dən çoxunu təşkil edir. Qlobal miqyasda 2030-cu ilə qədər tibb bacısı və mama çatışmazlığının indiki 9 milyondan 7,6 milyona qədər azalacağı təxmin edilsə də, Afrika və Şərqi Aralıq dənizi bölgələrində çatışmazlıq əslində daha da pisləşəcək.

[12]-də 2019-cu ildə dünyada 104 milyon tibb işçisi, o cümlədən 12,8 milyon həkim, 29,8 milyon tibb bacısı və mama, 4,6 milyon stomatologiya işçisi və 5,2 milyon əczaçılıq işçisi olduğu göstərilir və daha çox həkimə ehtiyac olduğu bildirilir. Belə ki, dünya üzrə həkim çatışmazlıqları ilə üzləşən 132 ölkədə universal sağlamlıq təminatı (Universal health coverage - UHC) hədəflərinə çatmaq üçün 6,4 milyon həkimə ehtiyac var. Universal səhiyyə əhatəsi (UHC) o deməkdir ki, bütün insanlar ehtiyac duyduqları keyfiyyətli tibbi xidmətlərə ehtiyac duyduqları vaxt və yerlərdə maddi sıxıntı olmadan çıxış əldə edə bilsinlər. O, sağlamlığın təşviqindən tutmuş profilaktika, müalicə, reabilitasiya və palliativ qayğıya qədər əsas səhiyyə xidmətlərinin tam davamlılığını əhatə edir.

[12]-də göstərilir ki, regionlar üzrə ən böyük həkim çatışmazlığı Cənubi Asiyada olub (2,57 milyon həkim), Afrika ölkələrində 1,92 milyon, Cənub-Şərqi Asiyada 995000 həkim, Yaxın Şərqdə 636000 həkim çatışmazlığı olmuşdur. Həkimlər üçün qlobal sıxlığın 10000 əhaliyə 16,7 olduğu təxmin edildi. Sıxlıqlar Sub-Sahara Afrikasında hər 10000 nəfərə 2,9 həkimdən Mərkəzi Avropa, Şərqi Avropa və Mərkəzi Asiyada 38,3 nəfər həkimə qədər dəyişir. Karib hövzəsi ölkələri olan Kubada 10000 nəfərə 84,4, Haitidə isə 2,1 həkim düşür.

ÜST-ün məlumatına əsasən 2030-cu ilə qədər dünyada 11 milyon tibb işçisi çatışmazlığının olacağı təxmin edilir.

A. Almaniya

Almaniya Əmək Bazarı və Peşə Tədqiqatları İnstitutunun araşdırmasına görə, Almaniya 15000-dən çox həkim çatışmazlığı vardır. Həkim çatışmazlığı səbəbindən Almaniya xaricdən gələn həkimlərə böyük tələbat var və bir çox xəstəxanalar xaricdən olan həkimlərin hesabına vakant yerləri doldurmağa çalışırlar. Araşdırmadan görünür ki, hazırda Almaniya 64 minə yaxın miqrant həkim çalışır. Bu o deməkdir ki, Almaniya çalışan 428000 həkimin 15 faizini başqa ölkələrdən gələn miqrant həkimlər təşkil edir. 2000-ci illərin əvvəllərində miqrant həkimlərin sayı 11000 – 18000 nəfər idi, sonrakı illərdə ciddi artım dinamikası müşahidə olunur. Müqayisələr onu göstərir ki, son 25 ildə həkimlərin sayı beş dəfədən çox artmışdır [13]. Stefanie Hankenin tədqiqatında Almaniya xəstəxanalarında çalışan xarici həkimlərin böyük bir hissəsi Avropa ölkələrindəndir (ümumilikdə bu həkimlərin sayı 37700-dən çoxdur). Təkcə Aİ ölkələrindən gələn 27800 nəfər həkim Almaniya çalışır. Ayrı-ayrı ölkələr içərisində Almaniya işləyən əcnəbi həkim sayına görə Suriya (5758 nəfər) birinci yeri tutur. Statistika görə ikinci yerdə Rumıniya (4287), üçüncü yerdə Rusiya Federasiyası (2698), Avstriya (2576), Yunanıstan (2535) və Türkiyə (2344) qərarlaşıb. Azərbaycanlı həkimlərin sayı 1617 nəfərə (2022-ci il statistikasına bu rəqəm 1359 idi) çatmışdır. Göründüyü kimi 2023-ci ildə Azərbaycandan gedən həkimlərin sayı 258 nəfər artıb [13].

B. Türkiyə

Türkiyədə səhiyyə sektorunda insan resurslarının sayının qeyri-kafi olması, həkimdən tutmuş tibb bacısına qədər səhiyyə işçilərinin qıtlığı rəsmi məlumatlarda, öz əksini tapır. Türk Təbiblər Birliyi (TTB) həkim çatışmazlığının xüsusilə dövlət sektorunda özünü büruzə verdiyinə diqqət cəhər. Türkiyə hər 10 min nəfərə düşən həkim və mütəxəssislərin sayına görə OECD-yə üzv olan 37 ölkə arasında sonuncu yerdədir. 100 min nəfərə düşən tibb bacılarının sayında da vəziyyət fərqli deyil. Tibb bacılarının sayının bütün dünyada həkim sayından çox olduğu bilinərkən, Türkiyədə səhiyyə nazirliyinin son məlumatlarına görə 10 min nəfərə düşən tibb bacılarının sayı 356 nəfərdir. OECD ölkələrində isə 10 min nəfərə düşən tibb bacısı sayı Türkiyənin təxminən 3 qatı olmaqla 920 nəfərdir. Nazirliyin 2028-ci il üçün hər 10 min nəfərə düşən mama və tibb bacılarının sayı üçün hədəfi OECD-dən xeyli aşağı olan 500 nəfər olaraq planlaşdırılır.

Ölkədə tibb işçilərinin iş yükünün artması, səriştəsizliyin yaratdığı problemlər və s. kimi səbəblərdən həkimlərin və tibb işçilərinin miqrasiyasında artım müşahidə olunur. TTB-nin məlumatlarına görə, 2012-ci ildə xaricə işləmək üçün sənəd alan həkimlərin sayı 59 olduğu halda, 2023-cü ildə bu rəqəm 3025-ə yüksəlib. Yalnız 2024-cü ilin ilk iki ayında bu rəqəm 453-ə çatıb. Son illərdə artan həkim miqrasiyasına tibb bacısı miqrasiyası da əlavə olunub. Son 3 ildə 13 mindən çox həkim dövlət səhiyyə müəssisələrindən istefa verib [14].

C. Amerika Birləşmiş Ştatları

Hazırda ABŞ ciddi həkim çatışmazlığı ilə üzləşir. Tibb işçilərinin tədarükü, qismən ABŞ əhalisinin qocalmış səhiyyə ehtiyaclarından qaynaqlanan tələbdən çox geri qalır. Amerika

Tibb Kollecləri Assosiasiyası (Association of American Medical Colleges - AAMC) tərəfindən dərc edilən proqnoza görə 2037-ci ilə qədər təxmin edilən 187000 həkim, o cümlədən 87000 ilkin tibbi yardım işçisinin çatışmazlığı gözlənilir. Kənd yerlərinin şəhər yerlərindəki 6% ilə müqayisədə 56% qıtlıqla üzləşəcəyi proqnozlaşdırılır ki, bu da demografik sağlamlıq fərqlərini daha da artırır. Demografik göstəricilər - xüsusən də əhalinin artımı və qocalması sabahın səhiyyə ehtiyaclarını ödəmək üçün daha çox həkimə ehtiyacı artıran əsas amillərdir. 2036-cı ilə qədər ABŞ əhalisinin 8,4% artacağı proqnozlaşdırılır. Bundan əlavə, 65 və yuxarı yaşda olan əhalinin sayının 34,1%, 75 və daha yuxarı yaşda olan əhalinin sayının isə 54,7% artacağı proqnozlaşdırılır [15].

Həkim çatışmazlığının aradan qaldırılması tibb tələbələrini sayının artırılması, coğrafi və ixtisas müxtəlifliyinin stimullaşdırılması və s. kimi çoxtərəfli yanaşma tələb edir. Bu cür strategiyaların uğurlu olması üçün yüksək ehtiyac olan ixtisaslar üzrə həkim hazırlığı imkanlarına qoyulan məhdudiyyətlər aradan qaldırılmalıdır [15].

2025-ci ilin sonuna qədər ABŞ-da 64 min həkim çatışmazlığı gözlənilir. Bütün dünyada olduğu kimi ABŞ-da da COVID -19 pandemiyası problemi daha da dərinləşdirmiş və həkimlərin klinik işçi qüvvəsindən ayrılmasına səbəb olmuşdur. Çatışmazlığın bir səbəbi, klinik həkimlərin təxminən 20 faizinin 65 və ya daha yuxarı yaşda olmasıdır ki, bu da təşkilatları tezliklə xeyli sayda həkim itirmək vəziyyətinə gətirir. 65 və daha yuxarı yaşda olan əhalinin sayının – mahiyyət etibarilə daha çox ehtiyacı olan xəstə qrupu – 2050-ci ilə qədər əhalinin 17 faizindən 23 faizə yüksələcəyi gözlənilir [16].

65 və ya daha yuxarı yaşda olan həkimlər klinik həkim işçi qüvvəsinin 20%-ni, 55-64 yaş arasında olanlar isə klinik həkim işçi qüvvəsinin 22%-ni təşkil edir. AAMC bunun yaxın illərdə həkim təchizatını əhəmiyyətli dərəcədə azaldacağını proqnozlaşdırır [17].

Amerikanın şəhər yerlərində hər 10 min nəfərə təxminən 53,3 ilkin tibbi yardım həkimi düşür. Kənd yerlərində hər 100 min nəfərə yalnız 39,8 ilkin tibbi yardım göstərən həkim düşür. Şəhər yerlərində 10 min nəfərə təxminən 312 həkim, kənd yerlərində isə yalnız 131 həkim çıxışı var. Bu bərabərsizlik kənd sakinləri üçün vaxtında və hərtərəfli tibbi xidmət almaqda ciddi çətinliklər yaradır [18].

Təhlillər göstərir ki, adambaşına düşən həkimlərin ümumi sayını ölkələr üzrə nəzərə alsaq, ABŞ ilk 10-luğa daxil ola bilmir. Hazırda 10 min nəfərə 26,1 həkim düşür ki, bu da ən yüksək nəticə göstərən İsveç (70,62 nəfər) və Yunanıstandan (63,06 nəfər) xeyli aşağıdır.

D. Kanada

Kanada ciddi həkim çatışmazlığı ilə üzləşir - bunun, əhalinin artması və həkimlərin təqaüdə çıxması ilə daha da pisləşəcəyi gözlənilir. OurCare təşəbbüsünün 2024-cü ilin fevral hesabatına görə 6,5 milyon kanadalı - yetkin əhalinin təxminən 22%-i hazırda ailə həkiminə malik deyil. 2022-ci ildə Kanadada 60000 qeydiyyatdan keçmiş tibb bacısının olması bu sahədəki çatışmazlığı təsdiqlədi. Kanada 2031-ci ilə qədər 7800 həkim və 2030-cu ilə qədər 117600 tibb bacısı çatışmazlığını gözləyir [19].

E. Avropa

Avropa səhiyyə işçi qüvvəsi ciddi böhranla üz-üzədir. Avropa İttifaqının (Aİ) 20 ölkəsi 2022 və 2023-cü illərdə həkim çatışmazlığı, 15 ölkə isə tibb bacısı çatışmazlığı ilə üzləşib. OECD-nin son məlumatları 2022-ci ildə Aİ ölkələrində 1,2 milyon həkim və digər səhiyyə işçisi çatışmazlığını müəyyən edib. Bundan əlavə, məlumatlar göstərir ki, Aİ ölkələrində həkimlərin üçdə birindən çoxunun və tibb bacılarının dördüdə birinin yaşı 55-dən yuxarıdır və 2030-cu ilə qədər təqaüdə çıxacağı gözlənilir. Səhiyyə xidmətlərinə tələbatı artıran qocalmış əhali və qocalmış səhiyyə işçi qüvvəsi, onların mövcud səhiyyə işçilərini yeniləmək ehtiyacının əsas səbəblərindəndir. Eyni zamanda, gənclər arasında sağlamlıq karyerasına maraq azalır, 2018-2022-ci illər arasında Aİ ölkələrinin yarısından çoxunda tibb bacısına maraq azalır. 2012-2022-ci illər arasında Aİ-də yeni tibb bacısı məzunlarının sayında hər il cəmi 0,5%-lik artım müşahidə olunmuşdur.

Avropa ölkələri tibbi kadr çatışmazlığını daha çox xaricdə təlim keçmiş səhiyyə mütəxəssislərinin işə götürülməsi ilə həll etməyə çalışırlar. Avropa ölkələrinə xaricdə təhsil almış həkimlərin axını 2019-cu ilə müqayisədə 2022-ci ildə 17%, xaricdə təhsil almış tibb bacılarının axını isə 72% artıb. 2023-cü ildə Norveç, İrlandiya və İsveçrədə həkimlərin 40%-dən çoxu və İrlandiyada tibb bacılarının 50%-dən çoxu xaricdə təlim keçmişdir.

IV. TİBDƏ DATA ELMINİN TƏTBİQİ İMKANLARI

Hər şeydən əvvəl qeyd etmək lazımdır ki, Data elmi (*ing. Data Science*) elmi metodlardan, statistikadan, Data mining üsullarından, maşın təlimi, dərin təlim alqoritmlərindən və Big data analitikadan, süni intellekt və s. istifadə edərək məlumatlardan faydalı biliklər çıxaran fənlərarası bir sahədir [5]. Səhiyyədə tibbi kadr potensialının analizində Data elminin rolu - səhiyyə işçi qüvvəsi məlumatlarının daha yaxşı başa düşülməsi və istifadəsi yolu ilə səhiyyə xidmətlərinin planlaşdırılması, idarə edilməsi və optimallaşdırılması üçün məlumatların toplanması, statistik təhlil, maşın təlimi və proqnozlaşdırıcı modelləşdirmə kimi məlumat elmi texnikalarının tətbiqinə aiddir. Data elminin tibbi kadr potensialının analizində - xüsusilə aşağıdakı məsələlərin modelləşdirilməsində tətbiqi çox önəmlidir [20]:

- ☐ iş qüvvəsinin planlaşdırılması və proqnozlaşdırılması;
- ☐ tələb və təklifin analizi və qiymətləndirilməsi;
- ☐ coğrafi paylanma;
- ☐ işə qəbul və saxlama analitikası;
- ☐ bacarıqlar və məhsuldarlığın qiymətləndirilməsi;
- ☐ siyasət və strateji qərarların qəbul edilməsinə dəstək və s.

Səhiyyə sənayesi xəstələrin demoqrafiyası, müalicə planları, tibbi müayinələrin nəticələri, sığorta və s. haqqında faydalı məlumatların böyük verilənlər toplusunu yaradır. Təbii ki, bu məlumatlar data alimlərinin diqqətini cəlb edir. Hazırda elmi ədəbiyyatlarda tibbin müxtəlif sahələrində Data elminin tətbiqinə həsr olunmuş tədqiqatlar çoxdur [21, 22]. Tibdə Data elmi:

- xəstəliyin yayılmasının riyazi modellərinin yaradılması, məsələn, epidemiyaların proqnozlaşdırılmasında və onlarla mübarizə strategiyalarının işlənilməsində;

- tibbi qeydlərin və kadrların idarə edilməsi sistemlərinin inkişafı və dəstəklənməsi yolu ilə klinikaların fəaliyyətini optimallaşdırmaqda;

- analizlər əsasında patologiyaları müəyyən etmək üçün alqoritmlərin yaradılmasında;

- xəstələr haqqında tam məlumatı ehtiva edən məlumat bazalarının yaradılmasında;

- daha dəqiq diaqnozlar qoyulmasında;

- fərdiləşdirilmiş müalicə tövsiyələri, tibbi təsvirlərin (MRT və s.) vizuallaşdırılması, təhlili və skan edilməsi təhlilində;

- tibbi məlumatların məxfiliyinin təmin edilməsində istifadə oluna bilər.

Data analitikadan istifadə təfərrüatları təhlil etmək və verilənlərdəki nümunələri başa düşmək, daha düzgün qərar qəbul etməyə, gözlənilən ömür uzunluğunu müəyyən etməyə, xəstəliyin erkən mərhələdə aşkarlanma və tələb olunan müalicə tendensiyalarını anlamağa və s. kömək edə bilər [23-25].

[26]-də tədqiqatın məqsədi səhiyyə təşkilatlarında böyük verilənlərin analitikasına əsaslanan qərarların qəbulu prosesini həll etmək üçün bəzi strategiyalar təqdim etməkdir. Eyni zamanda səhiyyə kontekstində böyük verilənlərin müxtəlif tətbiqləri və məlumatların toplanması, idarə edilməsi və integrasiyasına kömək edən, insan resurslarının idarə olunması prosesləri üçün proqnoz model təklif etməkdir.

[27] tibdə son nəsil yanaşmalar - trend sahələrindən biri sayılan proqnozlaşdırıcı, profilaktik və fərdiləşdirilmiş tibdə (3PM) böyük məlumatların istifadəsinə həsr olunmuşdur. Bu araşdırmada, daha fərdiləşdirilmiş müalicə strategiyaları təklif etmək üçün tibbi vəziyyətlərə daha fərdiləşdirilmiş yanaşmalar əlavə etmək üçün böyük məlumat vasitələrinin nevrologiyadan istifadə etdiyi praktik nümunələrdən bəhs olunur. 3PM-də böyük verilənlərin məlum nailiyyətləri, nevrologiyada böyük verilənlər və 3PM ilə böyük verilənlərin məhdudiyyətləri və çətinliklər hərtərəfli müzakirə olunur. Radiologiyada diaqnostik qərarların dəstəklənməsi sahəsi böyük ölçüdə xəstə məlumatlarının mövcudluğu və dərin öyrənmə kimi yeni süni intellekt üsullarının inkişafı ilə sürətli transformasiyadan keçir. [22]-də qaydalara əsaslanan ekspert sistemlərinin ilk günlərindən müasir dövrün koqnitiv köməkçilərinə qədər diaqnostik qərarların dəstəklənməsi sahəsində inkişafın ümumi tendensiyləri verilmişdir.

Xəstə məlumatlarının anonimləşdirilməsi, tibbi məlumatların məxfiliyinin qorunması və səhiyyədə saxtakarlığın aşkarlanması çox vacib məsələlərdəndir. Bu, böyük məlumatların təhlükəsizliyi qorumaq üçün Data alimlərindən (*data scientists*) bilik və bacarıq tələb edir. [28, 29]-də həm paylanmış, həm də mərkəzləşdirilmiş anonimləşdirmə üçün işləyən unikal alqoritm təqdim edilmişdir. Məlumatın məxfiliyini itirmədən onun təhlükəsizliyini qorumaq üçün müəlliflər ənənəvi K-anonimləşdirmə modelindən daha yaxşı performans göstərən model də təklif etmişlər.

NƏTİCƏ

Aparılan təhlillərə əsasən nəticələri aşağıdakı kimi təqdim etmək olar. Son dövrlər İKT-nin təsiri ilə səhiyyə sənayesi sürətlə inkişaf edən sektorlarından. Səhiyyənin insan resurslarının əsas hissəsini isə tibbi kadrlar təşkil edir. Ölkələr arasında tibbi kadrların paylanması qeyri bərabərlik hiss ediləcək dərəcədədir. Səhiyyənin göstərdiyi xidmətlərin keyfiyyəti əsasən ixtisaslı tibbi kadrların mövcudluğundan asılıdır. Səhiyyə sistemində insan resurslarının çatışmazlığı və ya qeyri-bərabər paylanması, ucqar, az məskunlaşan və regionlarda peşəkarların işə götürülməsi və saxlanması ölkələr üçün ciddi problem yaradır. Əhəlinin qocalması tendensiyası, səhiyyə sisteminin kadr potensialının doldurulması problemini kəskinləşdirir. Bu problem getdikcə daha çox “beyin” axını – tibbi kadrların miqrasiyası ilə həll edilir. Azərbaycanda ciddi kadr çatışmazlığı problemi olmasa da, IV sənaye inqilabı və rəqəmsal transformasiyalar kontekstində zamanın tələblərinə uyğun yeni tibb sahələri, xüsusilə tibbi informatika ixtisası üzrə kadrlar hazırlığına ehtiyac vardır. Dövlət səviyyəsində bu məsələnin həlli tövsiyyə olunur. Sonda deyə bilərik ki, Data elminin populyarlaşması və müxtəlif məlumatlara əsaslanan tətbiqlərin meydana gəlməsi ilə səhiyyə sektoru daha yaxşı bir həyat və müştərilərinə uyğunlaşdırılmış xidmətlər üçün verilənlərə əsaslanan həllərin aparıcı təchizatçısıdır.

İSTINADLAR

- [1] Y. Smith. Physician Shortage, Jan 3, 2023, <https://www.news-medical.net/health/Physician-Shortage.aspx>
- [2] Why is there a global medical recruitment and retention crisis?, Jan 9, 2023, <https://www.weforum.org/stories/2023/01/medical-recruitment-crisis-davos23/>
- [3] “2010-2014-cü illər üçün Azərbaycan Respublikasının səhiyyə müəssisələrində tibbi kadr təminatı üzrə İnkişaf Proqramı”, www.eqanun.az/framework/20002
- [4] “Azərbaycan 2020: gələcəyə baxış” inkişaf konsepsiyası, 2012. www.president.az/files/future_az.pdf
- [5] M. Hajirahimova, H. Gozalova, “Data science: history, essence, and status of training,” Problems of Information Society, 2019, №1, pp.86-98.
- [6] Z. Jabrayilova, “Formation of e-health human resources: international experience, challenges and perspectives,” Problems of Information Society, 2016, №2, pp.61–73.
- [7] M. Məmmədova, Z. Cəbrayilova, “Tibbi kadrlara tələb və təklifin qiymətləndirilməsi və idarə edilməsi problemləri”, “Elektron tibbin multidissiplinar problemləri” I respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, 24 may 2016-cı il, s. 225-229.
- [8] Səhiyyənin əsas göstəriciləri. www.azstat.org/MESearch/pdfdetSec.jsp
- [9] R.S. Ledley, L.B. Lusted, “Reasoning foundations of medical diagnosis,” MD Comput., 1991, vol.8, №5, pp.300-315.
- [10] M. Hajirahimova, A. Aliyeva, “Intellectual “Brain drain” in Azerbaijan: Causes and solutions,” Information Society, 2024 № 3, pp.88-97.
- [11] [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/medical-doctors-\(number\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/medical-doctors-(number))
- [12] R. Payerchin, “Across globe, 6.4 million physicians needed in 132 countries facing shortages”, May 24, 2022, <https://www.medicaleconomics.com/view/across-globe-6-4-million-physicians-needed-in-132-countries-facing-shortages>
- [13] S. Hanke, In Deutschland arbeiten: Woher kommen ausländische Ärztinnen und Ärzte?, 8 Mai, 2024, <https://aerztestellen.aerzteblatt.de/de/redaktion/deutschland-arbeiten-woher-kommen-auslaendische-aerzte>
- [14] V. Nasuhbeyoğlu, Tıp Bayramı'nda Türkiye manzarası: Sağlıkta çöküş 14 mart 2024-cü il, İstanbul <https://www.evrensel.net/haber/513054/tip-bayraminda-turkiye-manzarasi-saglikta-cokus>
- [15] N. C. McCann and R. Walensky. The first step to addressing the physician shortage, Jan. 15, 2025. <https://www.statnews.com/2025/01/15/physician-shortage-gme-residency-specialties-setting-limitations/>
- [16] L. Medford-Davis, R. Malani, Chelsea Snipes and Pieter Du Plessis. The physician shortage isn't going anywhere, September 10, 2024, <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/the-physician-shortage-isnt-going-anywhere>
- [17] New AAMC Report Shows Continuing Projected Physician Shortage, March 21, 2024 <https://www.aamc.org/news/press-releases/new-aamc-report-shows-continuing-projected-physician-shortage>
- [18] Aima Zaheer 10 States With The Most Doctors Per Capita In 2023, Nov 16, 2023, read <https://finance.yahoo.com/news/10-states-most-doctors-per-171351057.html>
- [19] Supporting Canada's health workers by improving health workforce research, planning and data, <https://www.canada.ca/en/health-canada/news/2024/07/supporting-canadas-health-workers-by-improving-health-workforce-research-planning-and-data1.html>
- [20] J.T. Lee, I. Crettenden, M. Tran, et al. Methods for health workforce projection model: systematic review and recommended good practice reporting guideline. Hum. Resour. Health 22, 25 (2024).
- [21] S. Mahmood, “The. Role of Big Data and Machine Learning in Diagnostic Decision Support in Radiology,” J Am Coll Radiol. 2018 Mar;15(3 Pt B):569-576.
- [22] S. Panesar, J. Fernandez-Miranda, “Big Data, Big Impact: The Potential for Data Science in Neurosurgery,” World Neurosurgery vol. 138, June 2020, pp. 558-559.
- [23] P. Sengupta, “Intelligent platforms for disease assessment: novel approaches in functional echocardiography,” JACC: Cardiovascular Imaging, 2013, 6(11):1206–1211.
- [24] M. Kumar, R. Manjula, “Role of big data analytics in rural health care-a step towards svasth bharath,” Int J Comp Sci Inform Technol, 2014, 5(6):7172–7178W.
- [25] S.V.G. Subrahmanya, D.K. Shetty, V. Patil, and et al., “The role of data science in healthcare advancements: applications, benefits, and future prospects,” Ir J Med Sci. 2022 Aug;191(4):1473-1483.
- [26] M.J. Sousa, A.M. Pesqueira, C. Lemos, M.Sousa, Á. Rocha, “Decision-Making based on Big Data Analytics for People Management in Healthcare Organizations,” J Med Syst. 2019 Jul 22;43(9):290.
- [27] O. Bajinka, S.Y. Ouedraogo, N.Li, et al., “Big data for neuroscience in the context of predictive, preventive, and personalized medicine,” EPMA Journal, 2025, №16, pp.17–35.
- [28] N. Mohammed, B.C. Fung, P.C. Hung, C.K. Lee, “ Centralized and distributed anonymization for high-dimensional healthcare data,” ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD), 2010, 4(4):1–33.
- [29] F. Li, X. Zou, P.Liu, J.Y. Chen, “New threats to health data privacy,” BMC Bioinformatics, (2011) 12(S12).

Hepatosellulyar Karsinoma üzrə Milli Bazanın MICE Metodu Əsasında Təkmilləşdirilməsi ilə Proqnozlaşdırma Məsələsinin Həlli

Məsumə Məmmədova¹, Zərifə Cəbrayılova², Lalə Qarayeva³, Mehriban Hüseynova⁴

^{1,2,3}ETM İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

⁴Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹mng51@mail.ru, ²djabrailova_z@mail.ru, ³karayevalala.01@gmail.com, ⁴mehribanhuseynova9@gmail.com

Xülasə— Məqalədə hepatosellulyar karsinoma (HSK) üzrə milli verilənlər bazasındakı boşluqların doldurulması və maşın təlimi alqoritmləri əsasında proqnozlaşdırma məsələsinin həlli təklif edilmişdir. Proqnozlaşdırma məsələlərinin maşın təlimi alqoritmləri ilə həlli bazanın təkmilləşdirilməsini və mövcud boşluqların doldurulmasını tələb edir. Tədqiqatda MICE metodu əsasında HSK üzrə milli bazadakı boşluqların doldurulması mərhələləri təqdim edilmişdir. Milli bazadakı məlumatlar əsasında kliniki xəstələrin vəziyyəti ilə bağlı proqnoz nəticələrin alınması üçün onun hissə-hissə Kaggle platformasından götürülmüş, proqnoz nəticələri (“ölüm-0” və ya “sağqalma-1”) məlum olan HCC datasetinə birləşdirilməsi və genişləndirilmiş bazada Random Forest və XGBClassification maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi verilmişdir.

Açar sözlər— hepatosellulyar karsinomanın proqnozlaşdırılması; maşın təlimi alqoritmləri; verilənlər bazasındakı boşluqların doldurulması; MICE metodu.

I. GİRİŞ

Təcrübəli həkim-ekspertlərin biliklərinin toplanması, saxlanması, manipulyasiyası, eləcə də, hər bir konkret verilənlər toplusu üzrə xəstəliyin müəyyən edilməsi və adekvat qərarların qəbul olunması üçün daha səmərəli vasitə biliklərə əsaslanan intellektual sistemlərdir. Bu sistemlərin əsasını tibbin konkret predmet sahəsində olan xəstəliklər, onların mümkün səbəbləri, inkişaf müddəti, kliniki təzahürləri, müşahidə olunan əlamətləri, simptomları və s. təşkil edir. Bu sistemlər diaqnoz qoyulması, daha effektiv müalicə üsulunun seçilməsi, proqnozlaşdırma, uyğun vəziyyətlərin (presedentlərin) axtarışı, terapiyaya nəzarət, təsvirlərin tanınması və interpretasiyası, dərman vasitələrinin kliniki-farmakoloji xüsusiyyətlərinin (toksikliyinin) monitorinqi və s. məsələlərin həllində tətbiq olunur.

Xərçəng növlərindən biri olan HSK çoxlu sayda kliniki göstəricilər, əlamətlərlə təyin olunan kritiki vəziyyətlərlə özünü biruzə verir. Onun diaqnozu və proqnozlaşdırılması üçün dəqiq, birmənalı meyarlar mövcud deyil [1, 2]. HSK-nın kritiki vəziyyətlərinin müxtəlif tipli, strukturlaşdırılmamış, çoxsaylı göstəricilərlə xarakterizə olunması HSK-nın diaqnozu, proqnozlaşdırılması ilə bağlı qərarların qəbulunda həkim səhvlərinə səbəb olur [3, 4]. Nəticədə göstəriciləri xarakterizə edən kliniki əlamətlərin müəyyən kombinasiyaları ilə təyin

edilən həkim qərarlarının qəbulunda xətlər qaçılmaz olur. Bu HSK-nın diaqnostikası və proqnozlaşdırılması üçün süni intellekt metodlarının tətbiqini, kliniki qərarların qəbuluna dəstək sistemlərinin yaranmasını şərtləndirir. Hazırda elmi ədəbiyyatda qaraciyər xəstəliklərinin aşkarlanması, diaqnostikası və müalicəsi üçün intellektual sistemlərin işlənilməsi istiqamətində tədqiqatlara rast gəlinir [5-8].

Hazırkı məqalədə maşın təlimi alqoritmlərinə istinad etməklə milli baza əsasında HSK-nın ilkin diaqnozu və proqnozlaşdırılması məsələsinin həlli imkanları araşdırılmışdır. Qeyd edək ki, maşın təlimi alqoritmləri əsasında verilənlərin analitik təhlili tam verilənlər toplusunun olmasını tələb edir, əsaslandığımız HSK üzrə milli bazada bir sıra boşluqların olması bu baxımdan problemlər yaradır. Adətən ənənəvi proqnozlaşdırmada bazadakı boşluqların doldurulması üçün uyğun sahə üzrə mütəxəssislərin rəylərinə istinad edilir və onlar bazadakı verilənlərin necə toplandığını yaxşı bildikləri üçün müvafiq düzəlişləri edə bilirlər. Lakin son dövrlərdə bazadakı boşluqların doldurulması üçün ekspert-mütəxəssislərin istinad etdiyi müxtəlif mürəkkəb prinsiplər əsasında yaradılmış alqoritmlərdən istifadə olunur [5, 9, 10]. Beləliklə, hazırkı məqalədə HSK üzrə milli bazadakı boşluqların doldurulması ilə bazada olan kliniki xəstələrin vəziyyətinə uyğun proqnoz nəticələrin alınması alqoritm təklif edilmişdir.

II. PROBLEMİN QOYULUŞU

HSK üzrə milli baza əsasında maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi ilə proqnozlaşdırma məsələsinin həlli bu bazadakı çoxsaylı boşluqların olması, proqnoz nəticələrin göstərilməməsi kimi problemlərin aradan qaldırılmasını şərtləndirir. Beləliklə, HSK üzrə milli verilənlər bazasındakı kliniki xəstələrin vəziyyəti ilə bağlı proqnoz nəticələrin alınması üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulur:

- HSK üzrə milli verilənlər bazasında boşluqların doldurulması;

- HSK üzrə milli verilənlər bazasına daxil olan kliniki xəstələrin vəziyyətinə uyğun proqnoz nəticələrin alınması üçün daha mükəmməl bazanın seçilməsi və verilənlərin ilkin emalı;

- seçilmiş HSK üzrə mükəmməl bazada proqnozlaşdırma məsələsinin maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi ilə həlli və

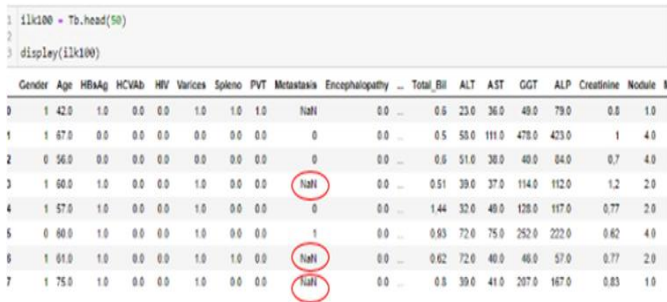
dəqiqlir meyarlarına görə daha yaxşı nəticə göstərən metodun seçilməsi;

- milli bazanın hissə-hissə daha mükəmməl bazaya köçürülməsi və alınan genişləndirilmiş bazada seçilmiş maşın təlimi algoritminin tətbiqi ilə kliniki xəstələrin vəziyyəti ilə bağlı proqnoz nəticələrin alınması.

III. PROBLEMİN HƏLLİ

a. HSK üzrə milli verilənlər bazasında boşluqların doldurulması

Azərbaycan Tibb Universitetinin I cərrahi xəstəliklər kafedrasının Türkiyənin Malatya İnönü Universitetinin Qaraciyər Nəqli İnstitutu ilə birgə fəaliyyəti əsasında yaradılmış HSK üzrə kliniki xəstələr haqqında verilənlər bazası (milli HCC Dataset) tədqiqat mənbəyi seçilmişdir. Verilənlər bazası 27 göstərici üzrə 556 kliniki xəstənin məlumatları əsasında formalaşdırılmışdır (şəkil 1) (bazadakı boşluqlar şəkil 1-də qırmızı halqalarla göstərilmişdir).



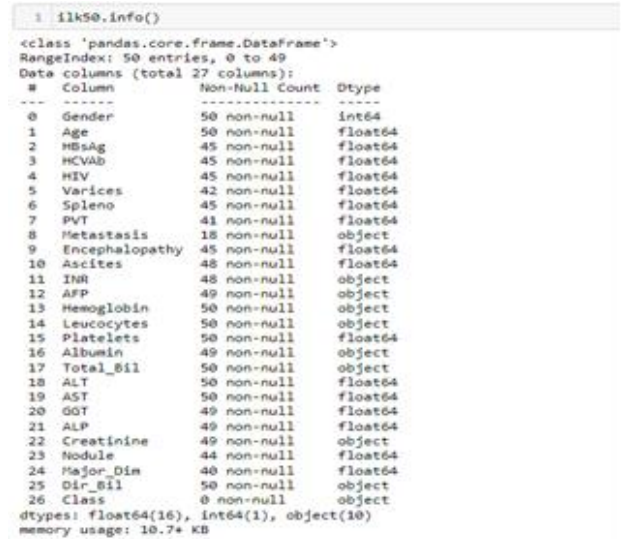
	Gender	Age	HBsAg	HCVAb	HIV	Varices	Spleno	PVT	Metastasis	Encephalopathy	Total_Bil	ALT	AST	GGT	ALP	Creatinine	Nodule	Class
0	1	42.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	NaN	0.0	0.0	23.0	36.0	48.0	79.0	0.8	1.0	0
1	1	67.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	5.0	58.0	111.0	478.0	423.0	1	4.0
2	0	56.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	5.0	51.0	30.0	48.0	84.0	0.7	4.0
3	1	60.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	NaN	0.0	0.0	0.51	39.0	37.0	114.0	112.0	1.2	2.0
4	1	57.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	1.44	32.0	40.0	128.0	117.0	0.77	2.0
5	0	60.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1	0.0	0.0	0.93	72.0	75.0	252.0	222.0	0.82	4.0
6	1	61.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	NaN	0.0	0.0	0.62	72.0	40.0	46.0	57.0	0.77	2.0
7	1	75.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	NaN	0.0	0.0	0.0	39.0	41.0	207.0	167.0	0.83	1.0

Şəkil 1. Milli HCC Dataset-inin fragmenti.

Qeyd edək ki, bazadakı 556 nümunədən (row) yalnız 50 nümunədə proqnoz nəticələr (0 (ölüm) və 1 (yaşayan)) göstərilmişdir. Bu baza əsasında kliniki xəstələrin vəziyyətinin proqnozlaşdırılması (yəni, hər bir nümunə üzrə proqnoz nəticənin alınması) üçün ilk növbədə istifadəçinin müdaxiləsi ilə bazadakı müxtəlif tipli verilənlər eyni tipə (float) gətirilməli, bazadakı boşluqlar doldurulmalıdır.

Boşluqların doldurulması üçün istifadə edilən metodların təhlili MICE (ing. *Multivariate Imputation by Chained Equations*) algoritminin seçilməsi ilə tədqiqatın aparılmasına imkan yaratmışdır [11, 12]. Bu algoritim ilə boşluqlarda olacaq dəyişənlər üçün posterior ehtimal paylamalarını əldə etmək məqsədilə Markov sxemi üzrə Monte-Karlo metodu istifadə edilir. Bu metod verilənlər bazasında çoxlu sayda dəyişənlər üzrə boşluqlar olduğu halda istifadə üçün yararlıdır. İlk növbədə buradakı boşluqların doldurulmasını tələb edir və boşluqların doldurulması mərhələləri aşağıdakı addımlarla yerinə yetirilir.

I mərhələ. Baxılan verilənlər bazasında bir-biri ilə əlaqəli olmayan müxtəlif tipli (object, int, float) verilənlər müəyyənləşdirilir (şəkil 2).



```

1 ilk50.info()

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 50 entries, 0 to 49
Data columns (total 27 columns):
 #   Column              Non-Null Count  Dtype  
--  --
 0   Gender              50 non-null     int64  
 1   Age                 50 non-null     float64 
 2   HBsAg               45 non-null     float64 
 3   HCVAb               45 non-null     float64 
 4   HIV                 45 non-null     float64 
 5   Varices             42 non-null     float64 
 6   Spleno              45 non-null     float64 
 7   PVT                 41 non-null     float64 
 8   Metastasis          18 non-null     object  
 9   Encephalopathy      45 non-null     float64 
10  Ascites             48 non-null     float64 
11  INR                  48 non-null     object  
12  AFP                  49 non-null     object  
13  Hemoglobin           50 non-null     object  
14  Leucocytes           50 non-null     object  
15  Platelets            50 non-null     float64 
16  Albumin              49 non-null     object  
17  Total_Bil            50 non-null     object  
18  ALT                  50 non-null     float64 
19  AST                  50 non-null     float64 
20  GGT                  49 non-null     float64 
21  ALP                  49 non-null     float64 
22  Creatinine           49 non-null     object  
23  Nodule               44 non-null     float64 
24  Major_Dim            40 non-null     float64 
25  Dir_Bil              50 non-null     object  
26  Class                0 non-null      object  
dtypes: float64(16), int64(1), object(10)
memory usage: 10.7+ KB
    
```

Şəkil 2. Milli HCC Datasetində olan verilənlər və onların tipləri.

Verilənlərin vahid formaya gətirilməsi üçün onların ilkin emalı həyata keçirilir, istifadəçinin müdaxiləsi ilə bazadakı müxtəlif tipli verilənlər eyni tipə (float) gətirilir.

II mərhələ. MICE algoritmi ilə boşluqların doldurulması üçün boşluqların olduğu sütunların adları kodlaşdırılaraq proqrama daxil edilmir.

Kodlaşdırma əsasında MICE metodunun həll algoritminə uyğun olaraq boşluqların olduğu sütunlar, məsələn “Varices” sütununun aşağıdakı modeli qurulur:

$$Varices_g \approx f(Age_g, Gender_g, HBsAg_g, HCVAb_g, HIV_g, \dots). (1)$$

Növbəti mərhələdə bu sütundakı boşluqlara doldurulacaq qiymətlərin təxminlərinə görə sütunun aşağıdakı yeni modeli qurulur:

$$\overline{Varices}_g = \hat{f}(Age_g, Gender_g, HBsAg_g, HCVAb_g, HIV_g, \dots). (2)$$

“Varices” sütununda təxmin edilən qiymətlər milli bazadakı müvafiq çatışmayan qiymətlərlə əvəz olunur və əməliyyat növbəti çatışmayan veriləni olan sütun üçün təkrarlanır. Şəkil 3-dən göründüyü kimi, bu milli bazadakı “PVT” sütunudur və onun modeli aşağıdakı kimidir:

Bu sütundakı boşluqlara doldurulacaq qiymətlərin təxminlərinə görə sütunun aşağıdakı modeli qurulur:

$$PVT_g \approx f(Age_g, Gender_g, HBsAg_g, HCVAb_g, HIV_g, \dots). (3)$$

Beləliklə, hər bir çatışmayan veriləni olan sütun üçün eyni prinsip tətbiq olunur və hər iterasiyada, əvvəlki iterasiyadan əldə olunan nəticələr nəzərə alınır.

$$\overline{PVT}_g = \hat{f}(Age_g, Gender_g, HBsAg_g, HCVAb_g, HIV_g, \dots). (4)$$

III mərhələ. MICE algoritminin tətbiqi ilə milli HCC Datasetdəki boşluqların doldurulmasından sonrakı təsviri şəkil 3-də verilmişdir.

	Gender	Age	HBsAg	HCVAb	HIV	Varices	Spleno	PVT	Metastasis	Encephalopathy	...	Total_Bil	ALT	AST	GGT	ALP	Creatinine	Nodu
0	1	42.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	1.0	1.000000	0.271354	0.000000	...	0.60	23.0	36.0	49.0	79.0	0.800000	1.000000
1	1	67.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	...	0.50	58.0	111.0	478.0	423.0	1.000000	4.000000
2	0	56.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	...	0.60	51.0	36.0	40.0	84.0	0.700000	4.000000
3	1	60.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	0.0	0.000000	0.283044	0.000000	...	0.51	39.0	37.0	114.0	112.0	1.200000	2.000000
4	1	57.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000	...	1.44	32.0	49.0	128.0	117.0	0.770000	2.000000
5	0	60.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	0.0	0.000000	1.000000	0.000000	...	0.93	72.0	75.0	252.0	222.0	0.620000	4.000000
6	1	61.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	1.0	0.000000	0.262000	0.000000	...	0.62	72.0	40.0	46.0	57.0	0.770000	2.000000
7	1	75.0	1.0	0.0	0.0	1.000000	0.0	0.000000	0.438200	0.000000	...	0.80	39.0	41.0	207.0	167.0	0.830000	1.000000

Şəkil 3. MICE algoritminin tətbiqi ilə boşluqların doldurulmasından sonra milli HCC Dataset-indən bir fraqmentin təsviri.

MICE metodunun tətbiqi ilə HCC Datasetdəki boşluqların doldurulması bir daha bu metodun paraktiki məsələlərin həllində reallaşdırılması imkanını göstərir. Baxılan halda alınan nəticənin effektivliyi HSK üzrə milli bazadakı boşluqların aradan qaldırılmasına nail olunmasıdır ki, bu da maşın təlimi alqoritmləri əsasında proqnozlaşdırma məsələsinin həllinə imkan yaradır.

B. HSK üzrə milli verilənlər bazasına daxil olan kliniki xəstələrin vəziyyətinə uyğun pronoz nəticələrin alınması üçün daha mükəmməl bazanın seçilməsi və verilənlərin ilkin emalı

HSK-nın proqnozlaşdırılmasında maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi üçün Kaggle şirkətinin HCC Dataset [13] adlı açıq verilənlər bazasından istifadə olunmuşdur. Verilənlər bazası Portuqaliya Universiteti Xəstəxanasında HCC-dən əziyyət çəkən 165 klinik xəstənin məlumatları əsasında formalaşdırılmışdır. Verilənlər bazasında Qaraciyərin Tədqiqi üzrə Avropa Assosiasiyası – Xərçəngin Tədqiqi və Müalicəsi üzrə Avropa Təşkilatı (eng. European Association for the Study of the Liver - European Organisation for Research and Treatment of Cancer) tərəfindən tövsiyə edilən 49 xüsusiyyət (kliniki əlamət) yer almışdır.

Bu baza əsasında maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi ilə HSK-nın proqnozlaşdırılması üçün verilənlərin ilkin emalı yerinə yetirilir. Bu mərhələdə bazada bir-biri ilə əlaqəli olmayan verilənlərin olub-olmaması araşdırılır, səpələnmiş verilənlər müəyyən edilir, onların vahid formaya gətirilməsi həyata keçirilir. Bu mərhələ verilənlər bazasının təmizlənməsi prosesi də adlandırılır və bilavasitə istifadəçinin müdaxiləsi ilə yerinə yetirilir. Verilənlər bazasını faydalı etmək, verilənin işlənməsini sadələşdirmək üçün Pandas [14] və NumPy [15] kitabxanalarından istifadə edilir. Kodların tətbiqi ilə müxtəlif tip verilənlər eyni tip verilənlərə çevrilir və bir-biri ilə əlaqəli xüsusiyyətlər təyin edilir. Verilənlər arasında həm xətti, həm də qeyri-xətti əlaqələri tapmaq üçün Correlation heatmaps istifadə edilir. Məlumatları normallaşdırmaq üçün minimum-maksimum miqyaslama bir və ya bir neçə xüsusiyyət sütununa tətbiq olunur. Minimum-maksimum miqyaslama əsasında verilənlərin normallaşdırılmaq üçün şəkil 4-dəki kodlaşdırmadan istifadə olunur. Daha sonra, HCC Dataset-də olan verilənlərin bütün xüsusiyyətləri təhlil olunmuş, buradakı 49 kliniki əlamət/atributdan 23-ünün kəmiyyət, 26-sının keyfiyyət xarakterli olduğu müəyyən edilmişdir. Hədəf sinfi (class) – birillik hesabata görə, 0 (ölən) və 1 (yaşayan) kimi ikili dəyişəndən ibarət olan proqnoz nəticədir.

C. HSK-nın proqnozlaşdırılması üçün maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi və dəqiqlik meyarlarına görə daha yaxşı nəticə göstərən metodun müəyyənəşdirilməsi

HCC Dataset-də təsnifləndirməni aparmaq üçün Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM) və Random Forest (RF) maşın təlimi alqoritmləri istifadə olunmuşdur. Maşın təlimində klassifikatorların aşkarlama performansının qiymətləndirilməsi üçün həssaslıq, tamlıq, yanlış pozitiv hallar, doğru pozitiv hallar, f-ölçü, dəqiqlik meyarlarından istifadə olunmuşdur [16, 17].

```
1 std = MinMaxScaler()
2 X = pd.DataFrame(std.fit_transform(X) , columns=X.columns)
3 X
```

	Gender	Symptoms	Alcohol	HBsAg	HBsAb	HCVAb	Cirrhosis	Endemic	Smoking	...
0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	...
2	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	...
3	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...
4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
199	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	...
200	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	...
201	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	...
202	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	...
203	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...

204 rows x 49 columns

Şəkil 4. Qaraciyər xərçəngi verilənlər bazasının MinMaxScaler əsası miqyaslanması.

Həssaslıq (P) həqiqi müsbətlərin sayı kimi müəyyən edilir və aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$P = \frac{Tp}{(Tp + Fp)} \quad (5)$$

Burada: Tp – doğru təsnif edilmiş proqnozlaşdırma ilə əlaqəli verilənlərin sayı, Fp – səhv təsnif edilmiş proqnozlaşdırma ilə əlaqəli olmayan verilənlərin sayıdır.

Tamlıq (R) həqiqi müsbətlərin sayı kimi müəyyən edilir və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$R = \frac{Tp}{(Tp + Fn)} \quad (6)$$

Burada: F_n – səhv kimi təsnif edilmiş proqnozlaşdırma ilə əlaqəli olmayan verilənlərin sayıdır.

F1-ölçü (F1-Score) və geri çağırmanın harmonik ortası kimi müəyyən edilir və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$F1 = \frac{2 * (P * R)}{(P + R)} \quad (7)$$

IV. NƏTİCƏ

HSK üzrə milli bazadakı boşluqların doldurulması üçün mövcud yanaşmalar, alqoritmlər şərh edilmiş, kliniki bazalarda boşluqların doldurulması üçün daha məqsədəuyğun hesab edilən MICE alqoritmının riyazi əsasları yerinə yetirilən əməliyyatlar ardıcılığına uyğun şəkildə təqdim edilmişdir.

- Milli HCC Dataseti əsasında proqnozlaşdırma məsələsinin maşın təlimi metodlarının tətbiqi ilə həlli üçün HSK üzrə daha mükəmməl baza olaraq Kaggle saytından götürülmüş HCC Dataseti seçilmişdir;

- HCC Datasetin-dəki yazıların 90% təlim və 10%-i test yazısı kimi seçilmiş, LR, SVM və RF maşın təlimi alqoritmləri tətbiq edilmiş, RF alqoritmının ən yüksək dəqiqliyə malik nəticə göstərdiyi təyin olunmuşdur;

- HSK üzrə milli bazadakı 50 nümunə (proqnoz nəticələri məlum olan) Kaggle saytından götürülmüş HCC Datasetinə əlavə edilmiş və baza genişləndirilmişdir. Genişləndirilmiş HCC Datasetində proqnoz nəticələrin alınması üçün RF alqoritmı və XGB klassifikatoru tətbiq edilmiş, milli HCC Datasetindəki hər bir nümunənin “0 (ölüm)” və “1 (sağqalma)” sinifləri üzrə paylanması göstərilmişdir;

- RF alqoritmı və XGB klassifikatoru üzrə alınan nəticələrin bir-birilə və retrospektivdə müqayisəsi verilmiş, əsaslandırılmışdır ki, milli HCC Dataset-indəki digər məlumatların da hissə-hissə (genişləndirilmiş HCC Dataset-indəki nümunələr hər dəfə 80% qəbul edilməsi, milli bazadan 20% nümunənin seçilməsi) genişləndirilmiş HCC Datasetinə əlavə edilməsi və XGB klassifikatorunun tətbiqi əsasında kliniki xəstələrin vəziyyəti ilə bağlı proqnoz nəticələrin alınması mümkündür.

ƏDƏBİYYAT

- [1] N. Y. Bayramov, *Surgical Diseases of the Liver*. Baku: Qismet, 2012.
- [2] D. Q. Huang, A. Tran, E. X. Tan, S. N. Nerurkar, R. Teh, M. L. P. Teng, E. J. Yeo, B. Zou, C. Wong, C. O. Esquivel, C. A. Bonham, and M. H. Nguyen, “Characteristics and outcomes of hepatocellular carcinoma patients with macrovascular invasion following surgical resection: a meta-analysis of 40 studies and 8,218 patients,” *Hepatobiliary Surg. Nutr.*, vol. 11, no. 6, pp. 848–860, 2022.
- [3] J. R. Jennifer and L. Brit, “Suffering in silence: Medical error and its impact on health care providers,” *J. Emerg. Med.*, vol. 54, no. 4, pp. 402–409, 2017.
- [4] B. Attia, A. K. Rehan, and W. R. Ahsan, “Medical errors: causes, consequences, emotional response and resulting behavioral change,” *Pak. J. Med. Sci.*, vol. 32, no. 3, pp. 523–528, 2016.
- [5] S. Aman and P. Babita, “An efficient diagnosis system for detection of liver disease using a novel integrated method based on principal component analysis and K-nearest neighbor (PCA-KNN),” *Int. J. Healthc. Inf. Syst. Inform.*, vol. 11, no. 4, pp. 56–61, 2016.
- [6] J. S. Sartakhti, M. H. Zangoeei, and K. Mozafari, “Hepatitis disease diagnosis using a novel hybrid method based on support vector machine and simulated annealing (SVM-SA),” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 108, no. 2, pp. 570–579, 2015.
- [7] M. G. Mammadova, N. Y. Bayramov, Z. G. Jabrayilova, M. I. Manafli, and M. R. Huseynova, “Knowledge transformation in the intelligent system for hepatocellular carcinoma staging,” in *Proc. 8th Int. Conf. on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA)*, Baku, Azerbaijan, Aug. 24–26, 2022, vol. 1, pp. 318–321.
- [8] M. H. Məmmədova, N. Y. Bayramov, Z. Q. Cəbrayıllova, M. İ. Manafli, M. R. Hüseynova, “Hepatosellülyar karsinomanın diaqnostikası üçün həkim qərarlarının dəstəklənməsi sistemi,” *Azerbaijan Medical Journal*, 2024, №4, pp.163-169.
- [9] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, and L. Garayeva, “Selecting a machine learning algorithm for the prediction of hepatocellular carcinoma with the determination of key indicators,” *5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics*, Baku, 2023, pp. 1-4.
- [10] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, and L. Garayeva, “Prognosing Hepatocellular Carcinoma Based on a National Database Using Machine Learning Algorithms,” *9th International Conference on Control and Optimization With Industrial Applications*, Istanbul, Turkey, 2024, pp. 108-113.
- [11] R. J. A. Little and D. B. Rubin, *Statistical Analysis with Missing Data*, John Wiley & Sons, 408 p., 2014.
- [12] Z. Zhang, “Multiple Imputation with Multivariate Imputation by Chained Equation (MICE) Package,” *Annals of Translational Medicine*, vol. 4, no. 2, pp. 30, 2016.
- [13] Santos, P. A. Henriques, P. Garcia-Laencina, A. Simao, and A. Carvalho, “A new cluster-based oversampling method for improving survival prediction of hepatocellular carcinoma patients,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 58, pp. 49–59, 2015.
- [14] S. Yadav and S. Shukla, “Analysis of k-fold cross-validation over holdout validation on colossal datasets for quality classification,” in *Proc. 2016 IEEE 6th Int. Conf. Adv. Comput. (IACC)*, 2016, pp. 78–83.
- [15] C. R. Harris, K. J. Millman, et al., “Array programming with NumPy,” *Nature*, vol. 585, no. 7825, pp. 357–362, Sep. 2020. [Online].M.
- [16] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, A. A. Ahmadova, and L. Garayeva, “Prediction of hepatocellular carcinoma using a machine learning algorithm,” *The 16th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT'2022)*, Washington, DC, 2022, pp. 1–4.
- [17] M. H. Məmmədova, Z. Q. Cəbrayıllova, and L. A. Qarayeva, “Hepatosellülyar karsinoma üzrə milli bazada maşın təlimi alqoritmlərinin tətbiqi ilə proqnozlaşdırma məsələsinin həlli,” *The International Conference on Artificial Intelligence and Digital Development: Current Realities and Future Perspectives*, Baku, 2024, pp. 13–19.

Training Biomedical and Medical Informatics Specialists in Azerbaijan

Nazaket Kerimli¹, Shahmerdan Amirov², Amina Aslanova³

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹nazaketkerimli3@gmail.com, ²phys_med@mail.ru, ³emineaslanova83@gmail.com

Abstract— Education in biomedical and health informatics plays a critical role in supporting modern healthcare systems, connecting medical practice with information technology, and meeting the growing digital demands of the healthcare sector. This paper examines the current state of biomedical and health informatics education both in Azerbaijan and around the world and offers recommendations for its future advancement. In order to investigate global trends and both domestic and international educational examples, we examined data from reports and articles. The thoughts of the experts were also used to discuss Azerbaijan's problems and potential solutions.

Keywords— *Biomedical and health informatics, electronic health records, Europe set criteria, training of trainers.*

I. INTRODUCTION

In today's digital era, health informatics has become a key pillar of the healthcare system, fundamentally driven by the collection, analysis, and application of data. As technology continues to evolve rapidly, there is a broad consensus among healthcare professionals, policymakers, and researchers that the industry must urgently accelerate its digital transformation [1]. The traditional methods of managing healthcare information are no longer sufficient to meet the demands of modern medical practice, where timely access to accurate data can significantly impact patient outcomes.

Biomedical and health informatics (BMHI) has emerged as a critical field that addresses these challenges by facilitating the effective management, sharing, and utilization of health-related data. BMHI is an interdisciplinary domain that combines elements of information science, computer science, technology, and socio-behavioral sciences with the practice of medicine and public health. It focuses not only on the technical aspects of data storage, retrieval, and analysis but also on the human and organizational factors that influence the successful implementation of information systems in healthcare settings.

By integrating advanced technologies such as electronic health records (EHRs), telemedicine platforms, big data analytics, and artificial intelligence, health informatics aims to improve the quality, safety, and efficiency of healthcare delivery. Furthermore, BMHI plays a crucial role in supporting evidence-based medicine, enabling healthcare providers to make more informed clinical decisions based on comprehensive patient data and the latest research findings.

As the healthcare landscape continues to evolve, the importance of health informatics will only grow. It offers the potential to enhance patient engagement, streamline healthcare operations, and drive innovation across the entire healthcare ecosystem. Ultimately, the effective use of health informatics contributes to better health outcomes, reduced costs, and a more patient-centered approach to care, marking it as an indispensable component of the future of healthcare.

The pervasive influence of information technology, compounded by issues like the 2019 pandemic of coronavirus disease and demographic shifts like aging populations, emphasizes the need for healthcare workers to acquire more than just basic computer skills. They must also become proficient in data management, have knowledge of advanced digital healthcare strategies, and be committed to providing individualized care [2, 3].

By 2030, the World Health Organization predicts a startling shortage of 18 million medical personnel [4]. This situation is particularly severe in Azerbaijan that are aging quickly. Innovations in robotics and artificial intelligence have the potential to completely transform the healthcare industry. In order to improve patient experiences, the industry is about to move beyond the basic usage of electronic health records to a more sophisticated interaction with health data.

This highlights the need for thorough BMHI educational frameworks, which are frequently overlooked in conventional pedagogies. Given that healthcare is inherently data-centric and that living things are essentially information processors, technological advancement will propel the development of health informatics [5, 6].

In order to guarantee better care delivery as the healthcare industry becomes more digitalized and connected, professionals need to possess a thorough understanding of informatics. Understanding the intricacies of contemporary healthcare systems, fostering interdisciplinary collaboration, and meeting the field's growing digital requirements all require a solid foundation in BMHI.

The purpose of this report is to clarify the concept, evolution, and worldwide trends of biomedical and health informatics education. The paper suggests future plans for advancing BMHI education in Azerbaijan in light of this knowledge.

II. PROGRESS AND INNOVATION IN BMHI EDUCATION

Hospital information systems were the starting point for the development of BMHI. Since BMHI is a recently recognized and developing field, its nomenclature has changed. Prior to 2000, "medical informatics" was a widely used word in the US.

The phrase "medical informatics" gave way to "biomedical informatics," a more inclusive word that now includes a variety of healthcare and life science fields, as a result of the rise of bioinformatics.

The term "biomedical informatics," which covers all fields such as clinical practice, healthcare, and biomedical research, is currently more widely used in the US. Biomedical informatics, imaging, and public health are subfields of clinical informatics, which focuses on fields including medicine, nursing, and dentistry [7].

The BMHI curriculum has been defined through international cooperation. In 1973, German organizations took the lead in these activities. Europe set criteria through EDUCTRA by 1992. In 1998, the International Medical Informatics Association (IMIA) created nursing competencies [8].

The American Medical Informatics Association (AMIA) introduced the 10×10 program in 2005, and IMIA offered guidelines for health informatics programs in 2000 [9].

The essential capabilities for BMHI were delineated by AMIA by 2012 [10].

Other initiatives included AMIA's joint efforts in 2015 and 2019 and TIGER's contributions to the clinical field curriculum [11].

In 2019, the Baccalaureate Education Community focused on fundamental skills, and in 2023, they presented findings from a master's-level study [12].

Core competencies for nursing education were proposed by the American Association of Colleges of Nursing in 2021 [13].

III. KEY DEVELOPMENTS IN BMHI EDUCATION IN AZERBAIJAN

As of 2025, Azerbaijan is actively advancing its biomedical and health informatics (BMHI) education to meet the growing demands of digital healthcare transformation. While specific statistics on BMHI education programs are limited, several initiatives and developments highlight the country's commitment to this field.

In 2022, AMU established the Department of Medical and Health Sciences Education (DMHSE) to modernize medical education.

By 2023, over 500 faculty members participated in training programs focusing on teaching skills, clinical proficiency, and emergency care management [14].

Implemented a Training of Trainers (ToT) model in 2022, engaging over 100 participants to enhance teaching methodologies in health professional education.

AMU collaborates with the Azerbaijan National Academy of Sciences on projects like developing intelligent methods for early diagnosis of liver cancer and establishing a Population Health Observatory.

Baku State University and Azerbaijan Medical University are recognized for their research in bioinformatics and computational biology, ranking #1361 and #1425 in Asia, respectively [15-17].

Table 1 highlights Azerbaijan's strategic focus on enhancing BMHI education to align with global healthcare advancements. The integration of modern technologies and interdisciplinary collaboration positions the country to effectively address contemporary healthcare challenges.

It also presents a structured overview of the current state and recent developments in Biomedical and Health Informatics education in Azerbaijan. It highlights the initiatives undertaken by key educational and medical institutions to modernize and enhance the quality of health informatics education [15-17]

Azerbaijan Medical University is spearheading initiatives by launching new divisions devoted to emergency medicine and contemporary medical education.

Innovative clinical training techniques, like Objective Structured Clinical Examinations (OSCE), have been implemented to enhance the competency of aspiring healthcare professionals, and more than 500 faculty members have received training.

Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors has adopted a "Training of Trainers" approach with the goal of modernizing and updating healthcare educators' teaching methods in order to raise the standard of medical education as a whole.

The Azerbaijan National Academy of Sciences highlights the strategic necessity of educating experts in digital medicine, health data science, and medical informatics in order to facilitate the development of a national medical information system.

Baku State University supports bioinformatics and computational biology research and produces noteworthy academic outputs in these fields, which helps to advance the field of health informatics.

TABLE 1. THE INITIATIVES UNDERTAKEN BY KEY EDUCATIONAL AND MEDICAL INSTITUTIONS TO MODERNIZE AND ENHANCE THE QUALITY OF HEALTH INFORMATICS EDUCATION

Institutions, Programs, Key Results Table Column Head		
Institution	Program/Initiative	Key Developments
Azerbaijan Medical University	Department of Medical and Health Sciences Education	Established in 2022 to modernize medical education. - Over 500 faculty members participated in training programs focusing on teaching skills, clinical proficiency, and emergency care management. - Integration of competency-based clinical skills training and objective structured clinical examinations (OSCE) for DMHSE and nursing students during the 2022-2023 academic year. - Launch of the Emergency Medicine Clerkship Programme, a pioneering initiative in undergraduate emergency medical care education in Azerbaijan.
Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors	Training of Trainers (ToT) Model	Implemented in 2022, engaging over 100 participants to enhance teaching methodologies in health professional education. - Focus on updating teaching methodologies and promoting ongoing professional growth among the faculty. - Establishment of the Medical Education Department to improve educational approaches through the "Faculty Development Program."
Azerbaijan National Academy of Sciences	Emphasis on Training in Medical Informatics	Highlighted the necessity of training highly qualified specialists in medical informatics, data science, and digital medicine. - Emphasized the importance of forming a unified medical information space in the country.
Baku State University	Bioinformatics and Computational Biology Research	Recognized for research in bioinformatics and computational biology. - Ranked #1361 in Asia for bioinformatics research.
Azerbaijan Medical University (AMU)	Bioinformatics and Computational Biology Research	Recognized for research in bioinformatics and computational biology. - Ranked #1425 in Asia for bioinformatics research.

IV. CONCLUSION

Building on recent efforts, the Biomedical and Health Informatics education system in Azerbaijan is expected to expand significantly

We can anticipate that competency-based learning and clinical skills training will continue to be prioritized in medical education after the Azerbaijan Medical University established contemporary educational departments and the Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors adopted creative teaching models.

Azerbaijan National Academy of Sciences and other organizations will probably continue to advocate for the establishment of a single national medical information space, which will result in the inclusion of medical informatics courses in more IT and healthcare programs. Azerbaijan will be positioned as a new participant in digital healthcare research as research-focused universities like Baku State University are anticipated to boost academic production in bioinformatics and computational biology.

REFERENCES

[1] J .Bichel-Findlay,S. Koch, J.Mantas , et al. Recommendations of the International Medical Informatics Association (IMIA) on education in biomedical and health informatics: second revision. Int J Med Inform 2023;p. 170

[2] S.Khairat, S.Feldman, Undergraduate health informatics education. In: Berner ES, editors. Informatics education in healthcare: lessons learned. Cham, Switzerland: Springer; 2020. p. 75-84.

[3] World Health Organization. Digital education for building health workforce capacity [Internet]. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2020 [cited at 2024 Apr29].

[4] World Health Organization. Global strategy on human resources for health: Workforce 2030 [Internet]. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2020 [cited at 2024 Apr].

[5] J. Wyatt , J. Liu , Basic concepts in medical informatics. Journal of Epidemiology & Community Health 2002;56(11):p.808

[6] I. Masic , Five periods in development of medical informatics. Acta Inform Med 2014;22(1) p 44-48.

[7] Korean Society of Medical Informatics. Biomedical and health informatics. Seoul, Korea: Hyunmoon; 2014.

[8] C.Delaney , C.Weaver ,et al, Nursing and informatics for the 21st century: embracing a digital world (Book 2: Nursing education and digital health strategies). New York (NY):: Routledge; 2022.

[9] International Medical Informatics Association. Recommendations of the International Medical Informatics Association (IMIA) on education in health and medical informatics. Methods Inf Med 2000;39(3):267-77

[10] C.Kulikowski , E.Shortliffe et al. AMIA board white paper: definition of biomedical informatics and specification of core competencies for graduate education in the discipline. J Am Med Inform Assoc 2012;19(6):931-8.

[11] U. Hubner , T. Shaw , et al. Technology Informatics Guiding Education Reform: TIGER. Methods Inf Med 2018;57(S 01):e30-42

[12] S.Khairat , S.Feldman , et al. Foundational domains and competencies for baccalaureate health informatics education. J Am Med Inform Assoc 2023;30(10):1599-607.

[13] American Association of Colleges of Nursing. The Essentials: core competencies for professional nursing education [Internet]. Washington (DC): American Association of Colleges of Nursing; 2021 [cited 2024 Apr 29].Available from: <https://www.aacnnursing.org/Essentials/Informatics-andHealthcare-Technologies>

[14] World Health Organization (WHO). *Modernizing Health Workforce Education in Azerbaijan for Improved Healthcare Services*. [Online]. Available: <https://www.who.int/about/accountability/results/who-results-report-2020-mtr/country-story/2023/modernizing-health-workforce-education-in-azerbaijan-for-improved-healthcare-services>

[15] UNESCO Institute for Information Technologies in Education (IITE). *Azerbaijan Technology Profile*. [Online]. Available: <https://education-profiles.org/northern-africa-and-western-asia/azerbaijan/~technology>

[16] World Bank. *Education Statistics for Azerbaijan*. [Online]. Available: <https://datatopics.worldbank.org/education/country/azerbaijan>

[17] Wresearch. *Azerbaijan Healthcare Informatics Market (2025–2031): Market Forecast, Trends, and Analysis*. [Online]. Available: <https://www.6wresearch.com/industry-report/azerbaijan-healthcare-informatics-market>

Rəqəmsal Tibb Mühitində Smart OLAP Sistemlərinin Tətbiqi: İmkanlar, Problemlər və Perspektivlər

Gülnarə Nəbibəyova¹, Lalə Əliyeva²

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹gulnarara58@mail.ru, ²laleasirova@mail.ru

Xülasə— Məqalədə rəqəmsal tibb mühitində smart OLAP sistemlərinin (Online Analytical Processing) rolu, imkanları və problemləri təhlil edilir, bu sahədə rəqəmsal tibbi standartlar nəzərdən keçirilir. Qeyd olunur ki, son zamanlar bütün sahələrdə, o cümlədən tibb sahəsində məlumatların həcmi və məlumat mənbələrinin sayının xeyli artması Data Mining, blokçeyn və neyron şəbəkələr kimi rəqəmsal texnologiyalardan istifadə etmək zərurəti yaratmışdır. OLAP sistemlərinin bu texnologiyalarla integrasiyası çoxölçülü tibbi məlumatların effektiv təhlili, klinik qərarların qəbuluna dəstək və səhiyyə resurslarının optimallaşdırılması üçün geniş imkanlar yaradır. OLAP sistemlərinin bu texnologiyalarla integrasiya modelləri göstərilib, blokçeyn, Data Mining və neyron şəbəkə texnologiyaları ilə integrasiya olunduğu hibrid modeli işlənilib təqdim olunmuşdur.

Açar sözlər— rəqəmsal tibb; smart OLAP sistemi; Data Mining; neyron şəbəkələri; blokçeyn.

I. GİRİŞ

Hazırda Sənaye 4.0 dövrü şəraitində rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı müşahidə olunur. Rəqəmsal texnologiyalar insan həyatının bütün sahələrinə, məsələn, iqtisadi, sosial, təhsil, o cümlədən tibb sahələrində sürətlə tətbiq olunur. Rəqəmsal texnologiyaların müxtəlif sahələrə tətbiqi prosesi, yəni rəqəmsal transformasiya, bu sahələr çərçivəsində istifadəçilər üçün xidmət potensialını kökündən dəyişir [1].

Son zamanlar OLAP interaktiv analitik emal texnologiyası kifayət qədər populyarlaşıb və müxtəlif strukturlarda geniş istifadə olunur [2]. Verilənlər anbarı (Data warehouse, DW) və OLAP texnologiyaları əsasında hazırlanmış qərarların qəbulunu dəstəkləyən sistemlərin (QQDS) köməyi ilə müxtəlif informasiya mənbələrindən verilənlərin konsolidasiyası həyata keçirilir. Bunun sayəsində istifadəçi təşkilatın fəaliyyəti ilə bağlı açar suallara cavab ala və ümumi mənzərəni görə bilər. Əlavə olaraq istifadəçiyə real vaxt rejimində məlumatları təhlil etmək, sorğular aparmaq və hesabatları əldə etmək imkanı yaradılır.

Lakin son zamanlar bütün sahələrdə, o cümlədən tibb sahəsində məlumatların həcmi və məlumat mənbələrinin sayı xeyli artmışdır. Tibb sahəsində elektron tibb kartlarından, teletibb platformalarından, daşınan cihazlardan və laboratoriya sistemlərindən gələn məlumatların həcmi sürətlə artması müşahidə olunur. Bunu nəzərə alaraq, məlumatların effektiv idarə edilməsi və analizi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Bununla əlaqədar, OLAP-in fəaliyyətində ciddi problemlər yaranır. Məlumatların böyük həcminə və məlumat mənbələrinin müxtəlifliyinə görə yeni yanaşmalara ehtiyac duyulur. Belə ki, bu günün tələbinə görə ənənəvi OLAP-dan Data Mining, neyron şəbəkələri, blokçeyn və s. kimi rəqəmsal texnologiyaların daxil olduğu smart OLAP-a keçilməsi zəruridir.

Rəqəmsal tibb mühitində smart OLAP sistemlərində, rəqəmsal texnologiyaların istifadəsi çoxölçülü tibbi məlumatların toplanması və təhlili, qərarların qəbuluna dəstək, tibbi xidmətlərin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması, gizli qanunauyğunluqların müəyyən edilməsi, tendensiyaların proqnozlaşdırılması və daha dərin, proqnozlaşdırılan məlumatların təmin edilməsi üçün böyük imkanlar yaranır. Tibb sahəsinin rəqəmsallaşdırılması daha səmərəli idarəetməyə və elmi tədqiqatların səviyyəsinin yüksəlməsinə kömək edir. Bu transformasiya kontekstində smart OLAP sistemləri klinik qərarların qəbulunu dəstəkləyən əsas vasitələrdən birinə çevrilir.

Tədqiqatın məqsədi rəqəmsal tibbin imkanlarını genişləndirmək üçün Data Mining, blokçeyn və neyron şəbəkələri kimi rəqəmsal texnologiyaların daxil olduğu smart OLAP sistemlərinin rolunu və əhəmiyyətini göstərməkdir.

II. SMART OLAP ƏSASINDA RƏQƏMSAL TİBBİN FORMALAŞMASI

Ənənəvi OLAP sistemləri çoxölçülü məlumatları təhlil edir və istifadəçilərə verilənlər üzərində analitik əməliyyatları yerinə yetirməyə imkan yaradır. Lakin böyük verilənlər kontekstində proqnozlaşdırma, təsnifat, klasterləşdirmə, məlumatların qorunması və bir çox başqa əməliyyatların yerinə yetirilməsi çətinləşir. Bu halda, smart OLAP sisteminin işlənilib hazırlanmasına ehtiyac yaranır.

Smart OLAP sistemləri rəqəmsal tibbin müxtəlif sahələrində istifadə olunur:

- xəstəliklərin və epidemiologiyanın təhlili: xəstəliklər region, zaman, cins və yaşa görə müəyyən edilir;
- müalicənin effektivliyinin qiymətləndirilməsi: real klinik təcrübənin məlumatları nəzərə alınmaqla müalicə üsullarının müqayisəsi aparılır;
- riskləri proqnozlaşdırılması: ağırlaşma ehtimalı yüksək olan pasiyentlər aşkar olunur və təkrar xəstəxanaya yerləşdirilir;

- resursların idarə edilməsi: personalın və avadanlıqların iş yükünün təhlili aparılır, ehtiyaclar planlaşdırılır;
- xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi: pasiyentlərin rəyləri təhlil edilir, məmnunluq və sadıqlıq amilləri müəyyən olunur və s.

Smart OLAP sistemlərinə Data Mining, neyron şəbəkələri, blokçeyn kimi rəqəmsal texnologiyalar daxildir. Bu texnologiyaların rəqəmsal tibb kontekstində hansı əhəmiyyətə malik olduğunu nəzərdən keçirək.

Rəqəmsal tibb kontekstində Data Mining geniş spektrli problemləri həll etməyə imkan verir. Aqreqasiya olunan məlumatlara əsaslanaraq, OLAP məlumatları təhlil etmək, xəstəliklərə diaqnoz qoymaq, məlumatlardan gizli simptomlar və nümunələri çıxarmaq, xəstəlik risklərini proqnozlaşdırmaq və mənfi təsirləri müəyyən etmək imkanı yaradır. Data Mining pasiyentləri müxtəlif meyarlara görə təsnif edə bilər: diaqnozlara, dərmanlara reaksiyalarına, hər qrupda hansı dərmanlara ən çox tələbatın olduğunu görə və s. [3, 4].

Rəqəmsal tibb mühitində blokçeyn texnologiyasının tətbiqi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Məlumatların mərkəzləşdirilməmiş şəkildə saxlanmasını, onların təhlükəsizliyini və məxfiliyini təmin edir, kiberhücum riskini azaldır, məlumat sızmasının və icazəsiz girişin qarşısını alır. Smart müqavilələrin mövcudluğu sığorta tələblərinin işlənməsi, klinik sınaqların idarə edilməsi və s. kimi səhiyyə proseslərinin avtomatlaşdırılmış şəkildə icrasına imkan yaradır [5].

Neyron şəbəkələri rəqəmsal tibb mühitində tibbi xidmətləri avtomatlaşdırmaq və fərdiləşdirmək üçün istifadə olunur. Onlar böyük həcmdə verilənləri emal etməyə, nümunələri müəyyən etməyə və resursların idarə edilməsi proseslərini təkmilləşdirməyə imkan yaradır. Neyron şəbəkələrin OLAP sistemlərinə inteqrasiyası bu sistemləri öz-özünə öyrənən analitik sistemlərə çevirir. Tibbin müxtəlif sahələrində neyron şəbəkələrdən istifadənin aktuallığı həm pasiyent, həm də tibb müəssisəsinin əməkdaşları üçün xidmətlərin göstərilməsi prosesinin sadələşdirilməsi və keyfiyyətinin yüksəldilməsi zərurətindən irəli gəlir. Neyron şəbəkələr verilənləri analiz etməyə, yoxlama, diaqnostika və proqnozlaşdırma məsələlərini həll etməyə imkan yaradır. Xəstəliyin proqnozu, anomaliyaların aşkarlanması və klinik risklərin hesablanması kimi funksiyalar bu sistemlərin potensialını artırır. Bundan əlavə, neyron şəbəkələrdən istifadə diaqnostikanın dəqiqliyini, yeni dərmanların hazırlanması və buraxılma sürətini və s. artırır [6].

Beləliklə, ümumilikdə rəqəmsal tibb mühitində smart OLAP sistemlərinin istifadəsi aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:

- Klinik məlumatların təhlili: xəstəliklərin erkən aşkarlanması, müalicənin effektivliyinin qiymətləndirilməsi, risk və nəticələrin proqnozlaşdırılması, fərdi müalicənin seçilməsi;
- Resursların idarə edilməsi: tibb işçilərinin və avadanlıqların optimal paylanması, tibb müəssisələrinin iş yükünün proqnozlaşdırılması, büdcənin planlaşdırılması və xərclərin təhlili;

- Pasiyent baxımının keyfiyyətinin yüksəldilməsi: pasiyent məmnunluğunun təhlili, keyfiyyətli müalicə nəticəsində pasiyentlərin xəstəxanaya təkrar müraciətlərinin qarşısının alınması, pasiyentlərin tibb müəssisəsinə inamını artıran amillərin müəyyən edilməsi;
- Tibbi qərarların qəbulu üçün dəstək: təcrübədə tətbiq edilən tövsiyələrin verilməsi, diaqnostika proseslərinin təkmilləşdirilməsi və səhvlərin aşkarlanması.

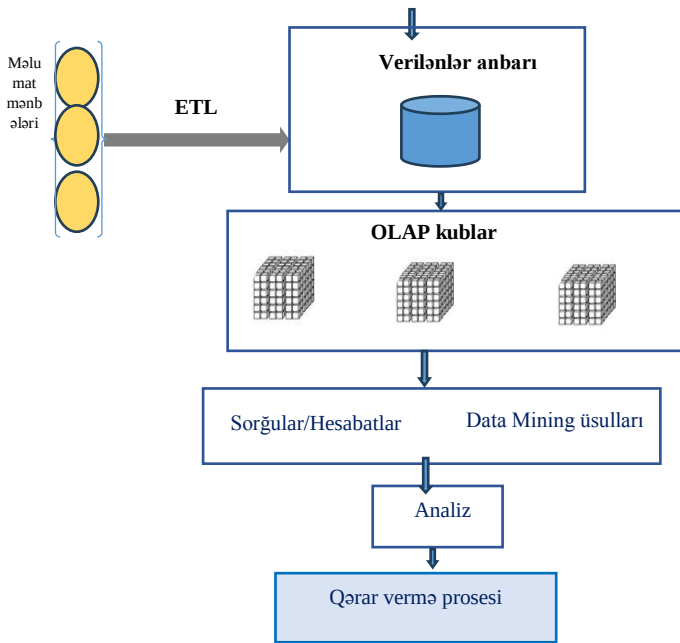
Qeyd edək ki, smart OLAP-ın tibb sahəsində istifadəsinin üstünlüklərinə baxmayaraq, çoxlu sayda məlumat mənbələrinin olması səbəbindən onlar müxtəlif formatlarda təqdim edilə bilər. Bununla əlaqədar olaraq həllərin keyfiyyətini, təhlükəsizliyini və uyğunluğunu təmin edən bir sıra standartlar hazırlanmışdır:

- ISO 27799:2016 [7] – ISO/IEC 27002 səhiyyə sahəsində informasiya təhlükəsizliyinin idarə olunmasını təmin edir [8];
- ISO 82304-1 – tibbi tətbiq və platformalar üçün keyfiyyət standartı [9];
- ISO 13485 – tibbi cihazlar üçün keyfiyyəti idarəetmə sistemi [10];
- ISO/TS 22220 – informasiya sistemlərində unikal pasiyent identifikatorlarının idarə edilməsi üçün standart [11];
- ISO/IEEE 11073-10101:2020 – tibbi cihazların qarşılıqlı əlaqə standartı [12];
- ISO/HL7 27931 – test nəticələri, KT, MRT və s. kimi tibbi hesabatlarda məlumat mübadiləsi üçün standartlar [13];
- ISO/FDIS 14155 –tibbi cihazların klinik sınaqlarının aparılması üçün standart [14].

III. RƏQƏMSAL TİBB SAHƏSİNDƏ SMART-OLAP SISTEM MODELİNİN İŞLƏNMƏSİ

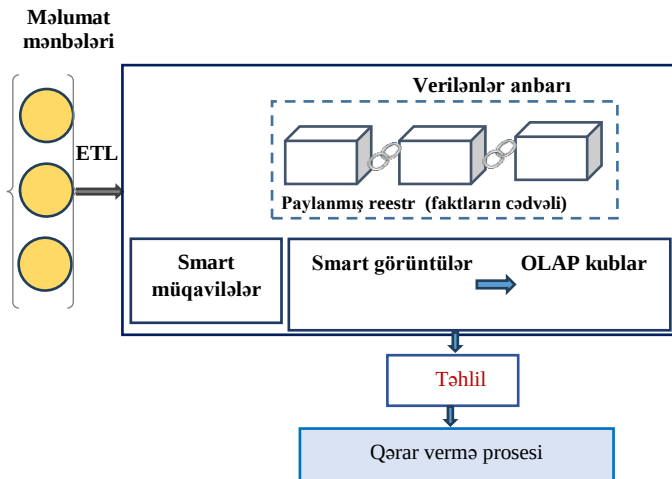
Yuxarıda qeyd olundu ki, rəqəmsal tibb kontekstində Data Mining, neyron şəbəkələri, blokçeyn kimi rəqəmsal texnologiyalar smart OLAP sistemlərinə inteqrasiya olunur.

OLAP ilə Data Mining-in inteqrasiyası ondan ibarətdir ki, OLAP sorğuları nəticəsində əldə edilən verilənlər yalnız ənənəvi formada hesabatların əldə edilməsi üçün deyil, həm də Data Mining metodlarından istifadə etməklə analizin aparılması üçün istifadə olunur. Ondan sonra alınan nəticələr qərar qəbul etmək üçün istifadə olunur [15]. Şəkil 1-də Data Mining ilə OLAP-ın inteqrasiyasının modeli göstərilir.



Şəkil 1. OLAP ilə Data Mining-in integrasiyası.

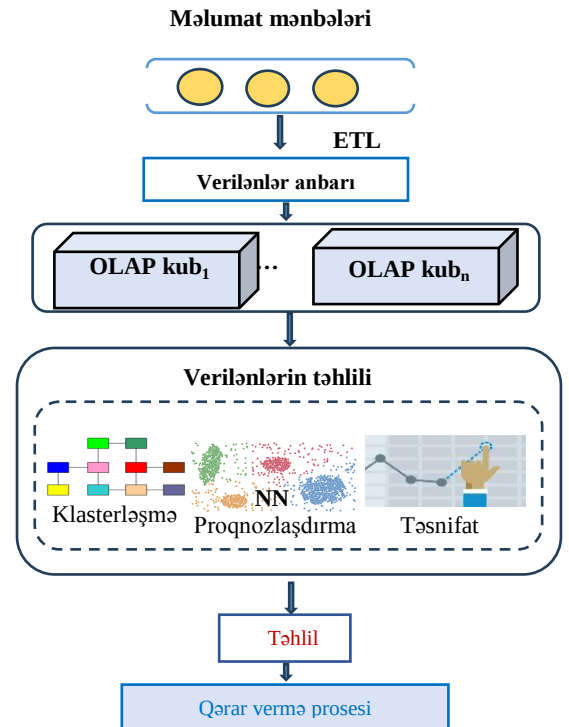
Məlum olduğu kimi, bəzi blokçeyn infrastrukturuları smart müqavilələrdən istifadə edir. Bu halda, blokçeyn bloklarında xam məlumatlar smart müqavilələrdə təsvir olunan hərəkətlərə tabedir. Nəticədə, yaranan smart görünüşlər OLAP kublarına transformasiya olunur. Bu kublara edilən sorğuların nəticələri təhlil edilir, bundan sonra qərarlar qəbul edilir [16]. Şəkil 2-də blokçeyn ilə OLAP-ın integrasiyası modeli göstərilir.



Şəkil 2. OLAP ilə blokçeynin integrasiyası.

OLAP-ın neyron şəbəkələrlə integrasiyası, qoyulan məsələlərdən asılı olaraq OLAP kublarına edilən sorğuların nəticələrinin təsnifatı, klasterləşdirilməsi və ya OLAP kubunda mövcud olmayan göstəricilərin proqnozlaşdırılması məqsədi daşıyır. Əldə olunan nəticələr qərar qəbul etmə prosesində istifadə olunur [17, 18].

Şəkil 3-də OLAP-ın neyron şəbəkələrlə integrasiyasının modeli verilmişdir.



Şəkil 3. OLAP ilə neyron şəbəkələrin integrasiyası.

Rəqəmsal tibb modeli geniş məlumat spektrinə malikdir. Bu məlumatlar xəstələr, həkimlər və cihazlar arasında qarşılıqlı əlaqənin bütün səviyyələrini, o cümlədən insanın sağlamlıq vəziyyəti və müalicəsi haqqında məlumatları əhatə edir [19].

Rəqəmsal tibbi məlumatların mənbələri aşağıdakılardır:

- Klinik məlumatlar: elektron tibbi qeydlər (diaqnozlar, tibbi hesabatlar, test nəticələri);
- Diaqnostik məlumatlar: tibbi təsvirlər (MRT, EKQ, rentgen) və laboratoriya testləri;
- Fizioloji məlumatlar: həyati parametrlər (qan təzyiqi, nəbz, qlükoza);
- Daşınan cihazlardan əldə olunan məlumatlar;
- Genomik məlumatlar: fərdiləşdirilmiş tibb üçün DNT məlumatı;
- Davranış məlumatları: həyat tərzi və davranış haqqında məlumatlar;
- Teletibb məlumatları: uzaqdan məsləhətləşmə qeydləri, (video, mətn, onlayn diaqnostika);
- İnzibati məlumatlar: qeydiyyat məlumatları, sığorta polisləri, maliyyə qeydləri.

Şəkil 1–3-də göstərilir ki, verilənlər anbarına daxil edilməzdən əvvəl ETL (extract, transform, load--çıxarma, transformasiya, yükləmə) texnologiyasından keçir [20]. ETL prosesi məlumatların konsolidasiyası mərhələsinin ayrılmaz hissəsi olaraq, məlumatların müxtəlif mənbələrdən verilənlər anbarına ötürən metodlar və alqoritmlər toplusudur. Bundan əlavə, ETL prosesi zamanı məlumatlar müvafiq keyfiyyət

səviyyəsinə çatdırılır: uyğunsuzluqlar, təkrarlar, hərf səhvləri və s. aşkar edilir, təsdiq edilmiş tələblərə uyğunluğu yoxlanılır. Yalnız etibarlı məlumat alındıqdan sonra növbəti mərhələyə keçmək olar.

Rəqəmsal tibb mühitində OLAP kubu müxtəlif ölçülər (dimensions) və metrikalar (measures) üzrə tibbi məlumatların sürətli təhlilinə imkan verən çoxölçülü strukturdur.

Rəqəmsal tibb kontekstindəki məlumatları nəzərə alaraq, OLAP kub strukturundakı ölçülər aşağıdakılardan ibarətdir:

- Pasiyent – ID kodu, yaş, cins, yaşayış bölgəsi, risk qrupu;
- Həkim/müəssisə – ixtisas, xəstəxana, şöbə;
- Diaqnoz – ICD-10 kodu, xəstəlik kateqoriyası;
- Prosedur/xidmət – xidmət növü, tarixi, tezliyi;
- Vaxt – gün, həftə, ay, il;
- Coğrafi məkan – şəhər, rayon, ölkə;
- Verilənlərin növü –fiziki parametrlər, testlər, şəkillər və s.;
- Mənbə – daşıyan cihaz, həkim, laboratoriya.

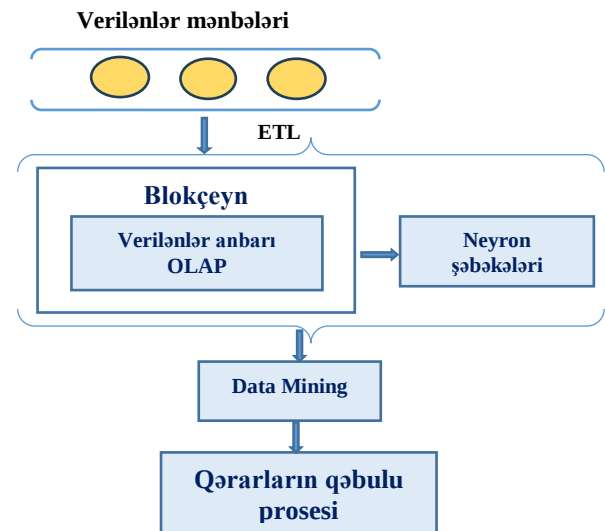
Bu ölçülərə əsaslanaraq, rəqəmsal tibb kontekstində OLAP kub strukturundakı metrikalar, yəni aqreqasiya oluna bilən ədədi dəyərlər bunlardır:

- Ziyarətlərin sayı;
- Xəstəxanaya yerləşdirmə sayı;
- Müalicənin orta müddəti;
- Qanda qlükoza, təzyiq, ürək döyüntüsünün səviyyəsi ;
- Xəstəliyin təkrarlanma dərəcəsi;
- Xidmətlərin qiyməti;
- Rəqəmsal məsləhətləşmələrin payı;
- Diaqnoz üçün Sİ dəqiqliyi (Diaqnoz üçün Accurasy AI modeli) modelləri.

Rəqəmsal tibb sistemi üçün məlumatların toplanması prosesi tibb sahəsində müxtəlif analitik və strateji məqsədlərə nail olmaq üçün həyata keçirilən fundamental fəaliyyətdir. Yuxarıda göstərilən məlumat müxtəlifliyindən göründüyü kimi, məlumatların toplanması və sonrakı istifadə prosesinin miqyası və əhatə dairəsi, həm mikro səviyyədə fəaliyyət göstərən təşkilatlar, həm də makro səviyyədə regional və inzibati ərazi vahidləri üçün əhəmiyyət kəsb edir.

OLAP sistemi blokçeyn texnologiyaları, Data Mining və neyron şəbəkələri ilə eyni vaxtda integrasiya oluna bilər. Bu halda, biz hibrid model əldə edirik [21]. Bu model analitika, etibarlılıq və proqnozlaşdırmanı təmin edəcək. Şəkil 4-də hibrid modelin strukturu verilmişdir.

Təqdim olunan hibrid modelin sxemində göstərilən neyron şəbəkələr birbaşa blokçeyndən alınan məlumatlardan istifadə edərək, OLAP ilə paralel işləyir.



Şəkil 4. OLAP sisteminin hibrid modelinin strukturu.

IV. NƏTİCƏ

Sənaye 4.0 dövrü yeni informasiya və kommunikasiya texnologiyalarının yaranması, texniki inkişafın yüksək templəri, yeni təhlükə növləri və çoxlu sayda mənbələrdən gələn böyük verilənlərin mövcudluğu ilə xarakterizə olunur. Bununla bağlı, OLAP kimi faydalı və geniş istifadə olunan texnologiyaların ənənəvi formada istifadəsi səmərəsiz və praktiki cəhətdən məqsəduyğun deyil, hətta bəzi hallarda qeyri-mümkündür. Bu, xüsusilə böyük verilənlərin və çoxlu sayda müxtəlif məlumat mənbələrinin mövcud olduğu tibb sahəsində özünü göstərmişdir.

Bu baxımdan, ənənəvi OLAP sistemindən smart OLAP sistemə keçid zərurəti yarandı. Məqalədə OLAP-ın rəqəmsal texnologiyalar - neyron şəbəkələri, blokçeyn və Data Mining ilə integrasiya modelləri təqdim olunur. Bundan əlavə, blokçeyn texnologiyaları, Data Mining və neyron şəbəkələri ilə integrasiyanı göstərən hibrid OLAP sistem modelinin strukturu təqdim olunur.

Məqalədə təqdim olunan tədqiqat və modellər rəqəmsal tibbin bir çox sahələri üçün böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Bunlara məlumatların təhlili, xəstəliklərin diaqnostikası, məlumatlardan gizli simptomların aşkarlanması, klinik risklərin proqnozlaşdırılması, əlavə təsirlərin müəyyən edilməsi, xəstələrə qayğı və xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması və s. aiddir.

Rəqəmsal tibb kontekstində gələcək tədqiqat istiqamətləri və inkişaf perspektivləri OLAP sistemlərinin bulud texnologiyaları və IoT (İnternet of Things, Əşyaların İnterneti) ilə integrasiyasına, fərdiləşdirilmiş analitik vasitələrin hazırlanmasına, maşın öyrənmə metodlarının daha geniş tətbiqinə və rəqəmsal tibbdə smart OLAP sistemlərinin effektivliyinin qiymətləndirilməsinə yönəldiləcək.

İSTINADLAR

- [1] Kraus, F. Schiavone, A. Pluzhnikova, and A. C. Invernizzi, “Digital transformation in healthcare: Analyzing the current state-of-research,” *Journal of Business Research*. vol. 123, pp. 557-567, February 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296320306913>
- [2] E.F. Codd, S.B. Codd, C.T. Salley, “Providing OLAP (on-line Analytical Processing) to User-analysts: An IT Mandate”, vol. 32. 1993, Codd & Date, Inc.
- [3] A. Krylov. “Healthcare Data Mining: Benefits, Challenges and Examples”, February 9, 2025
<https://kodjin.com/blog/data-mining-in-healthcare/>
- [4] “Применение OLAP-систем в медицине”,
<https://kaidev.ru/Pages/Article.aspx?p=OlapUsageMed>
- [5] F. M. AbdelSalam, “Blockchain Revolutionizing Healthcare Industry: A Systematic Review of Blockchain Technology Benefits and Threats”, *Online Research Journal Perspectives in Health Information Management*, September 2023.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10701638/>
- [6] Е. А. Задорожная, К. А. Мороз, “Применение нейросетей в медицине”, vol. 9(2), pp. 10-12, 2024
<https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrosetey-v-meditisine/viewer>
- [7] ISO 27799:2016 <https://www.iso.org/standard/62777.html>
- [8] ISO/IEC 27002 <https://www.iso.org/standard/75652.html>
- [9] ISO 82304-1 <https://www.iso.org/standard/59543.html>
- [10] ISO 13485 <https://www.iso.org/standard/59752.html>
- [11] ISO/TS 22220 <https://www.iso.org/standard/59755.html>
- [12] ISO/IEEE 11073-10101:2020 <https://www.iso.org/standard/77338.html>
- [13] ISO/HL7 27931 <https://www.iso.org/ru/standard/44428.html>
- [14] ISO/FDIS 14155 <https://www.iso.org/standard/83968.html>
- [15] Alpa R. Patel, Jayesh M. Patel, “Integrated approach of OLAP and Data Mining for Decision support”, *International Journal of Scientific Research*, 2013, vol.2, 3, pp.80-82,
https://www.researchgate.net/publication/314384994_Integrated_approach_of_OLAP_and_Data_Mining_for_Decision_support
- [16] Nabibekova G. Ensuring information security of distributed electronic systems containing OLAP using blockchain technology. *Information technologies*, 2023. Vol. 29, No. 5. Pp. 250-256.
- [17] G.Nabibayova. Expanding the intellectual capabilities of OLAP-technology with the use of neural networks. *Problems of Information Society*, 2024, vol.15, no.2, 43-48.
- [18] G.Nabibayova. Neural networks as a tool for intellectualization of OLAP systems, *CEUR-WS*, Vol. 3806, s. 10, pp. 1-11
- [19] O. Naseem, “Data Integration Challenges in Health Care: How OLAP Can Help” September 17, 2024.
<https://digitalcxo.com/article/data-integration-challenges-in-health-care-how-olap-can-help/>
- [20] What is ETL? <https://www.ibm.com/topics/etl>
- [21] Что такое: гибридная модель,
<https://ru.statisticseasily.com/glossario/what-is-hybrid-model/>

Медико-демографическая Идентичность Территориальных Единиц в Среде Здравоохранения 4.0

Масума Мамедова¹, Зарифа Джабраилова², Вагиф Мамедалиев³

Институт Информационных Технологий МНО, Баку, Азербайджан

¹mmg51@mail.ru, ²djabrailova_z@mail.ru, ³vagifmammadaliyev@gmail.com

Аннотация — Рассмотрены проблемы выявления медико-демографической идентичности территориальных единиц в среде здравоохранения 4.0. Выделены факторы, формирующие территориальные особенности медико-демографических процессов. Предложена расширенная интерпретация понятия «человеко-центрированный подход», адаптированная к контексту конкретной территориальной единицы, личностным характеристикам и социальным детерминантам здоровья индивида. Через призму факторов, воздействующих на медико-демографические показатели населения, человеко-центрированного подхода, цифровизации здравоохранения и медицины изложены концептуальные взгляды авторов к возможным направлениям решения проблемы медико-демографической идентичности и медико-демографической безопасности территориальных единиц. Выявлены специфика проблемы и методологические трудности в ее реализации. Для исследования медико-демографической ситуации территорий предложены методологические предпосылки, базирующиеся на системном подходе.

Ключевые слова — *медико-демографическая идентичность, территориальная единица, концептуальные подходы, факторы окружающей среды, человеко-центрированный подход.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Здоровье населения является одним из основных государственных приоритетов и условий обеспечения национальной безопасности любой страны. Состояние здоровья населения оказывает непосредственное воздействие на формирование показателей ВВП, численность трудовых ресурсов, качество жизни населения, стабильность общества и др. К числу важнейших процессов, характеризующих динамику состояния здоровья населения, относятся медико-демографические. Мониторинг медико-демографических процессов осуществляется посредством медико-демографических показателей, отражающих воздействие широкого диапазона социально-экономических, историко-культурных, политических, наследственно-генетических, природно-климатических, экологических факторов [1]. Уровень воздействия каждого из этих факторов на здоровье населения наиболее ярко отражается на уровне отдельных территориальных единиц. Именно

территориальная привязка населения позволяет выявить специфические проявления отдельных факторов, в совокупности определяющих условия и состояние среды проживания популяции. Последние формируют отрицательную или положительную динамику изменения медико-демографических показателей и оказывают прямое воздействие на здоровье и воспроизводство населения данной территории. Поэтому исследование медико-демографических процессов в разрезе различных территориальных единиц является важной и актуальной задачей, которая на сегодня еще не имеет эффективного решения [2].

В настоящее время наблюдается интенсивная цифровизация здравоохранения и медицины. Формирование и развитие цифровой медицины, внедрение инновационных технологий в индустрию здравоохранения, создание большого количества различных электронных ресурсов как медицинского, так и межотраслевого характера, разработка разнофункциональных носимых устройств и сервисов оказали серьезное воздействие на представления граждан о принципах оказания медицинских услуг. Согласно результатам опроса консалтинговой компании PricewaterhouseCoopers [3] в условиях масштабной цифровизации здравоохранения первоочередной необходимостью для людей становится легкий доступ к медицинским знаниям, услугам и результатам лечения, с одной стороны, и потребность стать активным участником процесса лечения – с другой. Усилению тренда способствует также политика многих государств, направленная на повышение здоровья нации и пропаганду здорового образа жизни [4]. Это, в свою очередь, оказывает положительное влияние на медико-демографические показатели страны как в развитых городах и регионах, так на географически отдаленных территориях.

II. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО ПОРТРЕТА ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Население любой территории формирует территориальную общность людей, здоровье которых характеризуется медико-демографическими показателями

(МДП), отражающими динамику состояния здоровья населения. МДП являются одним из интегральных критериев оценки общественного здоровья и приняты в качестве индикаторов, характеризующих уровень социально-экономического развития, здоровья населения и эффективности системы здравоохранения страны. В широком смысле к МДП относятся рождаемость, общая и детская смертность, причины смертности, естественный прирост населения, продолжительность ожидаемой жизни при рождении, заболеваемость, структура болезней и др. В узком смысле к демографическим компонентам общественного здоровья относятся уровни общей и детской смертности, основные причины смертности, уровень и структура заболеваемости, уровни распространения инфекционных, неинфекционных и специфических заболеваний среди различных групп населения, показатели оценки образа жизни, продолжительность жизни и др. В последние годы во многих странах мира по большинству из МДП наблюдаются неблагоприятные тенденции.

Под медико-демографической идентификацией (МДИ) географических единиц авторы подразумевают процесс выявления состояния общественного здоровья населения конкретной территории, сложившегося на определенный момент времени в результате воздействия внешних и внутренних факторов. При этом процесс идентификации медико-демографической ситуации реализуется на основе систематического удаленного мониторинга МДП с использованием технологической и методологической базы здравоохранения 4.0, включающей такие инструменты, как искусственный интеллект, интернет вещей, сенсоры, интеллектуальные методы обработки больших данных, облачные технологии и др.

Под медико-демографической безопасностью (МДБ) авторы понимают такое состояние общественного здоровья популяции, которое под воздействием внешних и внутренних факторов не приводит к ухудшению значений МДП. Систематический мониторинг и анализ полученных значений МДП позволит выявить тенденции ухудшения, улучшения или стабильности состояния здоровья и условий жизни населения в любом пространственно-временном разрезе.

А. Факторы, влияющие на формирование территориальных особенностей медико-демографических процессов

Здоровье населения как в целом по стране, так и в разрезе территориальных единиц формируется и изменяется под влиянием комплекса различных по своему характеру, направленности и силе воздействия факторов. Эти факторы тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены, меняются во времени, имеют региональные и территориально-географические особенности. В соответствии с многочисленными исследованиями в настоящее время определены следующие факторы, влияющие на здоровье:

- 1) биологические или генетические (пол, возраст, наследственность и др.);

- 2) природные (климат, ландшафт, флора, фауна, антропогенное загрязнение и др.);
- 3) социально-экономические (условия и образ жизни);
- 4) экологические (состояние окружающей среды);
- 5) медицинские (уровень развития здравоохранения).

Экспертами Всемирной организации здравоохранения в 80-х годах XX века выделены четыре основные группы факторов и определено их примерное соотношение в обеспечении здоровья современного человека:

- 1) генетика и биологические свойства организма – 20 %;
- 2) условия и образ жизни людей — 52-53%;
- 3) медицинское обеспечение — 7-8%;
- 4) состояние окружающей (внешней) среды – 20% [5, 6].

Как следует из приведенных цифр, здоровье популяции, проживающей на конкретной территории, обусловлено, прежде всего, условиями и образом жизни, состоянием среды обитания. Это отражается на демографическом поведении, экологическом сознании, уровне образования, профессиональных предпочтениях каждого индивида. Путем анализа и оценки медико-демографического состояния территориальных единиц можно выявить уровень дифференциации последних как по совокупности медико-демографических показателей (МДП), так и по каждому отдельному показателю. Так, например, сокращение/рост рождаемости и смертности, интенсивность, объем, направленность, причины и характер миграционных потоков (трудова, образовательная, вынужденная), репродуктивное поведение, избыток/дефицит трудовых ресурсов, урбанизация оказывают значительное влияние на воспроизводство населения территориальных единиц и их медико-демографическую безопасность.

Следует отметить, что при исследовании медико-демографических процессов учитываются, в основном, количественные аспекты воспроизводства населения, базирующиеся на статистические показатели [7–9]. Однако медико-демографическая ситуация характеризуется также качественными показателями, выраженными изменениями в уровне образования, культуры, профессиональных навыков, в состоянии здоровья населения. В современных условиях качественные показатели имеют существенное значение для человека и оказывают влияние на характер и динамику воспроизводства населения [10].

В. Подходы к оценке медико-демографического состояния территориальной единицы

Воздействие факторов, формирующих медико-демографический портрет территориальной единицы, в зависимости от поставленной цели можно оценить по различным срезам. Так, при исследовании популяции территориальных единиц и страны в целом рассматриваются индивидуальный, групповой и общественный уровень здоровья. При этом индивидуальный уровень, характеризующий здоровье отдельного человека, определяется генетическими особенностями данного индивида, условиями и образом жизни последнего и др. Групповой уровень отражает здоровье отдельных групп людей, объединенных по каким-либо признакам (семья, возраст, профессия, место проживания и т.д.), а общественный уровень определяет общественное

здоровье – социальный уровень, характеризующий состояние здоровья населения определенной территориальной единицы, региона, страны [11, 12].

Территориальная привязка народонаселения может предоставить возможность проведения медико-демографической идентификации отдельного индивида и всей популяции через призму характеристик самой территории, т.е. с позиций географического расположения и состояния среды обитания, антропогенных нагрузок окружающей среды на здоровье населения, совокупного воздействия социально-экономических, природно-климатических и техногенных факторов [13]. Для этого необходимо установить причинно-следственные связи между состоянием здоровья населения, МДП и уровнем воздействия как отдельных факторов, так и их совокупности. С методологической точки зрения решение этой сложной научной проблемы требует разработки новых подходов, требующих учета неопределенности среды обитания человека, многофакторного и многокритериального характера воздействия окружающей среды на человека.

Для оценки медико-демографической идентичности территориальных единиц и проведения сравнительного анализа территорий по различным показателям (как интегрированным, так и частным) авторами предлагается использовать также их горизонтально (географически) и вертикально (функционально) распределенные срезы. Горизонтальные срезы относятся к территориям, находящимся на одном уровне районирования административно-территориальных единиц, т.е. распределены в ширину. При этом пространственное распределение вширь может проводиться на различных уровнях иерархии управления – микро (отдельные территориальные единицы, мезо (районный, региональный), макро (национальный).

Вертикально-распределенные срезы медико-демографического пространства характеризуют иерархию движения потоков медико-демографической информации снизу вверх, начиная с низовых (микро) уровней и заканчивая национальным (макро) уровнем.

В распределенной среде наибольший интерес представляет решение задачи интеграции и управления данными, сосредоточенными в иерархически, географически и функционально распределенных источниках как медико-демографической информации, так и данных, непосредственно воздействующих на формирование МДП.

С. Человеко-центрированный подход к исследованию медико-демографической идентичности территориальных единиц

Ключевые международные тренды модернизации здравоохранения предполагают улучшение качества медицинских услуг и повышение уровня здоровья населения различных территориальных единиц путем вовлечения каждого индивида в заботу о собственном здоровье и создания персон-центрированных или пациенто-центрированных медицинских систем. В

некоторых источниках встречается также термин «человеко-центрированные системы». Обзор литературы показывает, что на сегодня нет однозначной интерпретации этих понятий. Отсутствует также единое мнение относительно сходства и различия между ними как среди медицинских работников, так и среди пациентов и их родных [14-18].

Термины «пациента-центрированный подход», «персоно-центрированный подход», «человеко-центрированный подход» чаще всего рассматриваются как синонимы. Этимология терминов привязана к процессу исцеления, в центре которого находится пациент или индивид как потенциальный пациент. Это означает, что из позиции пассивного субъекта лечебного процесса пациент (больной) переводится в позицию активного участника (patient/people at the centre). При этом медицинские услуги, ориентированные на индивида (пациента), предполагают реагирование на индивидуальные потребности, предпочтения и ценности отдельных лиц или групп населения [19, 20].

Новый этап инновационных реформ, связанный с цифровой трансформацией в здравоохранении и медицине и формированием здравоохранения 4.0 и медицины 4.0, фокусируется на системах, ориентированных на человека в более широком понимании и подразумевает различия в понимании контента персон-центрированного и человеко-центрированного подходов. Так, человеко-центрированный подход к медицине 4.0 и оказанию медицинских услуг рассматривается как трансформирование медицины лечения больных в медицину сопровождения здоровых. Это означает смещение акцента с болезни на пациента, персонализацию лечения, расширение доступа последнего к информации, его превращение в активного участника процесса лечения и принятия решений. Внедрение технологий индустрии 4.0 в медицину предоставляет возможность достижения всеобщего охвата населения медицинскими услугами путем перехода от систем здравоохранения, сконцентрированных вокруг болезней, к системам здравоохранения, предназначенным для людей. Сущность такой интерпретации человеко-центрированного подхода к здоровью индивида сводится к возможности обеспечения людям долгой и здоровой жизни посредством: а) сопровождения человека в течение его жизни в направлении устранения факторов риска для здоровья, б) принятия комплексных превентивных мер по коррекции образа жизни и удовлетворения его потребностей; в) создания благоприятных условий для проживания на любой территории.

В настоящей работе мы принимаем вышеизложенную трактовку человеко-центрированного подхода за основу. Нами предлагается расширить границы человек-центрированной системы путем:

- 1) адаптации системы к контексту конкретной территориальной единицы;
- 2) включения индивида в систему как в его жизненном контексте (территориально-географическом, психологическом, социально-экономическом и др.), так и с учетом личностных характеристик (состояние

здоровья, образа жизни, рода занятий, доходов, образования, профессиональных навыков и пр.).

Это позволит выявить интенсивность, направленность и продолжительность воздействия различных факторов на человека, с одной стороны, и оценить степень его удовлетворенности различными аспектами своей жизни в зависимости от собственной шкалы ценностей и личностных приоритетов, с другой стороны.

D. Человеко-центрированный подход к концептуальной постановке задачи определения медико-демографической идентичности территориальных единиц

Разработка новых концептуальных и методологических подходов к моделированию медико-демографических процессов в территориальном разрезе относится к разряду достаточно актуальных задач в области медико-демографических исследований. Создание комплекса моделей и методов оценки медико-демографической напряженности территорий как по совокупности отслеживаемых индикаторов, так и по степени влияния каждого индикатора на состояние здоровья популяции с учетом человеко-центрированного подхода даст возможность ранжировать территориальные (региональные) единицы по уровню их благополучности для проживания, т.е. по уровню медико-демографической безопасности.

Через призму факторов, формирующих здоровье человека, человеко-центрированного подхода к персональным социальным детерминантам индивида, развития и внедрения инструментов медицины 4.0 ниже изложена авторская интерпретация сущности исследований медико-демографических процессов и приведена общая постановка задачи.

Человек, как биологическое существо является элементарной единицей в совокупности популяции. В то же время человек, как индивид является элементом особой социальной среды – общества, причем социальная основа существования человека как элемента общественной структуры является ведущей. Индивид, как сложное биосоциальное существо, находится в постоянном взаимодействии с внешней средой. При этом в силу социальной сущности человека последний не является пассивным наблюдателем, а наоборот, активно воздействует на окружающую среду. Антропогенное воздействие на природу может оказывать как положительное, так и негативное влияние на состояние окружающей среды территориальной единицы. Это, в свою очередь, может способствовать как уменьшению отрицательного влияния некоторых факторов, так и, наоборот, к их усилению. В этих условиях для систематического мониторинга факторов, воздействующих на здоровье человека, возникает необходимость расширения возможностей медицины 4.0 за счет внедрения новых информационных технологий [21-25].

Человеко-центрированный подход к исследованию медико-демографических процессов позволяет по-новому смотреть на взаимодействие сектора здравоохранения с другими отраслями экономики. Так, медико-демографическими показателями в сущности может быть

оценена деятельность всех отраслей экономики, служб и ведомств в государстве. Хотя отрасли экономики напрямую и не связаны с медицинской деятельностью, тем не менее они играют существенную роль в повышении эффективности и качества медицинских услуг посредством улучшения условий жизни населения. Например, внедрение в медицину информационных технологий и развитие цифровой медицины предоставляет каждому индивиду электронный доступ к его индивидуальной информации (электронные карты здоровья – electronic health record) [21-26], возможность получения медицинских знаний через Интернет и социальные сети, качественное управление медицинскими службами, а также процессом лечения. Это позволяет предоставить населению любой территории такие же возможности для долгой и здоровой жизни, какие имеют люди, живущие в центральных городах и регионах с высокоразвитой медицинской инфраструктурой и медицинским персоналом.

Наряду с совершенствованием методов диагностики и лечения, человеко-центрированный подход и технологические инновации открывают совершенно уникальные возможности для профилактики и поддержки здорового населения [27], обеспечения удаленного доступа и отслеживания состояния здоровья инклюзивных групп [28] и лиц, работающих на опасных производствах [29]. Технологии здравоохранения 4.0 также позволяют обеспечить доступ к квалифицированной медицинской помощи населению, проживающему на удаленных территориях [30]; повышения уровня образования и квалификации людей посредством удаленного доступа к образовательным и медицинским ресурсам совершенствование компетенций отдельных лиц и групп населения и принятие ими решений в направлении укрепления здоровья и благополучия [31]; внедрения технологий, повышения как производственной, так личной безопасности [32].

Следует отметить, что все эти меры носят межотраслевой характер. Их решение требует выработку скоординированных мер по улучшению качества жизни людей в контексте индивидуальных шкал ценностей и личных приоритетов [33]. Вложение инвестиций в сектора экономики, непосредственно участвующие в улучшении условий жизни населения, создании новых производительных рабочих мест, оздоровлении экологической ситуации, содействии здоровому образу жизни, позволит консолидировать усилия и ресурсы последних в реализации концепции “people at the centre”, сущность которой, как было указано выше, заключается в постепенной трансформации здравоохранения от лечения больных к поддержке здоровых.

В этих условиях здоровье популяции в конечном итоге зависит от способности успешно регулировать взаимосвязь между физической, биологической средой и внешним окружением человека и сводится к следующей концептуальной постановке задачи:

На основе человеко-центрированного подхода разработать методику комплексной оценки медико-демографической идентичности и медико-

демографической безопасности общественного здоровья населения территориальных единиц с учетом особенностей внешнего окружения человека в среде здравоохранения 4.0, позволяющую принять научно обоснованные управленческие решения по улучшению среды проживания последнего и повышению качества медицинских услуг.

Данная задача, имеющая многогранный характер, актуальна как в концептуальном, так и в методологическом плане. Так, сегодня еще не нашли удовлетворительного решения вопросы разработки новых подходов, моделей и методов, учитывающих динамический и неопределенный характера объекта исследования. Нет универсальных подходов к отбору критериев оценки, имеющих количественный и качественный характер. Отсутствуют общепринятые подходы и методы оценки степени влияния различных факторов на состояние здоровья популяции в различных его срезах. При решении задачи определения медико-демографического портрета территории и выявления причинно-следственных зависимостей от значений показателей факторов, формирующих здоровье, имеются сложности информационного, межотраслевого и организационного характера. Для устранения указанных проблем необходимы новые технологии для:

- 1) сбора гетерогенной информации и удаленного мониторинга различных показателей (индивида, окружающей среды, условий проживания, качества продуктов и т.п.), базирующиеся на применении киберфизических систем и интернета вещей;
- 2) хранения и распределенной обработки огромного количества неструктурированных данных медицинского и немедицинского характера с использованием облачных вычислений, OLAP и ГИС-технологий;
- 3) выработки аналитики с целью установления новых закономерностей и поддержки принятия решений по управлению медико-демографической ситуацией региона на базе интеллектуальных систем поддержки принятия решений и больших данных в рамках разработки научно-методологических основ Обсерватории мониторинга здоровья населения.

III. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ

Предлагаемые в отдельных работах механизмы оценки медико-демографических показателей страны не позволяют эффективно управлять медико-демографическими процессами на отдельных территориях страны, поскольку здоровье населения в целом не сводится к «сумме» здоровья популяции отдельных территориальных единиц.

Специфические особенности отдельной территориальной единицы, условия и среда проживания населения, уровень проявления различных факторов и тенденции развития их воздействий во времени обуславливают дифференциацию территорий и различный «вклад» последних в общее состояние здоровья населения. Все это актуализируют необходимость разработки методологических подходов к

проведению исследований медико-демографической ситуации в территориальном разрезе.

Предлагаемая методология исследования медико-демографической ситуации в территориальном разрезе базируется на системном подходе и опирается на следующие предпосылки:

1. Медико-демографическая ситуация любой территориальной единицы представляет собой локализованный сегмент распределенного медико-демографического пространства страны, отражающий количественные и качественные показатели специфических проявлений различных факторов на людей, проживающих на данной территории на индивидуальном, групповом и общественном территориальном уровне.

2. Как локализованный сегмент, для исследования которого используются МДП, аналогичные для оценки состояния здоровья на национальном уровне, территориальный срез медико-демографического пространства может рассматриваться в качестве самостоятельной системы, являющейся одним из узлов распределенной медико-демографической системы страны. В этом узле формируется медико-демографический портрет конкретной территории.

3. Медико-демографические процессы любой территории формируются в условиях неопределенности, поскольку на эти процессы воздействует большое количество различных, часто не контролируемых факторов, которые сложно оценить количественно и формализовать традиционными методами.

4. Введение понятия «человеко-центрированный подход», в основе которого лежит изучение индивида как в его жизненном контексте, так и с учетом личных характеристик, позволяющих выявить интенсивность, направленность и продолжительность воздействие различных факторов на человека, с одной стороны, и оценить степень его удовлетворенности различными аспектами своей жизни в зависимости от личных предпочтений, с другой стороны.

5. Для исследования и оценки адаптивности индивида к факторам среды через призму человеко-центрированного подхода требуется разработка новых методов, базирующихся на математический аппарат, работающий с неопределенностью и наличием в контуре управления человека.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы мониторинг медико-демографической ситуации во многих странах выдвигается в разряд общегосударственных стратегических задач и рассматривается в качестве основы и условия для принятия и реализации других масштабных целей. Это не случайно, поскольку без профессионального изучения медико-демографической ситуации на различных уровнях и территориальных разрезах управления сложно составить реальные планы социально-экономического развития страны и каждой территориальной единицы в отдельности. Как показывают исследования, состояние здоровья населения в

значительной степени зависит от условий жизни, сложившихся на конкретной территории, и отражает взаимосвязь между значениями медико-демографических показателей, территориальными характеристиками и степенью проявления факторов, формирующих качество жизни популяции на данной территории.

Предлагаемые концептуальные и методологические подходы к определению МДИ и МДБ территориальных единиц могут лечь в основу разработки новых решений на базе технологий здравоохранения 4.0 и медицины 4.0, направленных на:

- 1) выявление условий, причин и факторов, формирующих МДП популяции;
- 2) оценку уровня медико-демографической напряженности территорий;
- 3) проведение сравнительного анализа территориальной дифференциации.
- 4) поддержку медицинских институтов, служб и ведомств, участвующих в формировании здоровой окружающей среды, в получении ими научно обоснованной доказательной информации о реальной ситуации на территории и принятия своевременных и эффективных управленческих решений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Monitoring and evaluation of health systems strengthening. WHO, Geneva. November 2009, 28 p. https://www.who.int/healthinfo/HSS_MandE_framework_Nov_2009.pdf;
- [2] Demographic Change and Local Development: Shrinkage, Regeneration and Social Dynamics. OECD. 2012, 26 p. https://www.oecd.org/cfe/leed/Demographic_changes_highlights.pdf
- [3] Unleashing the power of innovation https://www.pwc.com/gx/en/innovationsurvey/files/innovation_full_report.pdf
- [4] S. Lozanova. Can the digital world encourage healthy living? 2018/ <https://earth911.com/eco-tech/can-digital-world-encourage-healthy-living/>
- [5] B. Verboom, P. Montgomery, S. Bennett. What factors affect evidence-informed policymaking in public health? Protocol for a systematic review of qualitative evidence using thematic synthesis // *Systematic Reviews*, 2016, No5. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0240-6>;
- [6] S. V. Ermolayeva, V. M. Zhuravlev, A. A. Smagin, S. V. Lipatova. Model-Based Decision Support System for Assessment of Environmental Factors Impact on Population Health. *Human Ecology*. 2016, 3, pp. 9-17.
- [7] П. С. Сташевский. Поддержка принятия решений в здравоохранении с использованием показателя популяционного риска заболеваемости, 2014, 20 с.
- [8] J. D. Morgenstern, et al. Predicting Population Health with Machine Learning: A Scoping Review. *BMJ Open* 2020;10:e037860. doi:10.1136/bmjopen-2020-037860. H. Baltagi..
- [9] B. H. Baltagi. *Econometric Analysis of Panel Data* 5th Edition. 2013, 388 p. <https://www.who.int/>.
- [10] C.-Y. Wang, S.-J Lee. Regional Population Forecast and Analysis Based on Machine Learning Strategy. *Entropy* 2021, 23, 656. <https://doi.org/10.3390/e23060656N>.
- [11] E. Porada Public health and healthcare. Minsk: ICC Minfin, 2017, 126 p.;
- [12] Sevvanthi, K 2023. Comparing the predictive performance of a decision tree with logistic regression. https://www.researchgate.net/publication/351831017_Regional_Population_Forecast_and_Analysis_Based_on_Machine_Learning_Strategy/link/67ff09d3df0e3f544f420da3/download
- [13] Health Impact Assessment. <https://www.who.int/hia/evidence/doh/en/>.
- [14] R. Calisi, S. Boyko, A. Vendette, A. Zagar. What is Person-Centred Care? A Qualitative Inquiry into Oncology Staff and Patient and Family Experience of Person-Centred Care, *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 2016, № 47, pp.309-314;
- [15] Placing people and communities at the centre of health services: WHO global strategy on integrated people-centred health services, 2016-2026. (2015). http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/180984/1/WHO_HIS_SDS_2015.20_eng.pdf?ua;
- [16] B. Starfield. Is patient-centred care the same as person-focused care? *Perm J.*, 2011, 15(2), pp.63–69;
- [17] R. Dowse Reflecting on patient-centred care in pharmacy through an illness narrative, *Int Journal of Clin Pharm*, 2015, 37, pp.551–554.
- [18] Nwizugbe Obiageri Ezenwa Linkages between Public Health and Health Demography the power of innovation. *International Journal of Innovative Research&Development*. 2014.Vol. 3? Issue 6. file:///C:/Users/User/Downloads/ijird,+2JUN14018.pdf
- [19] Technical Paper, International Symposium on People-Centred Health Care: Reorienting Health Systems in the 21st Century. The Tokyo International Forum, 25 November 2007. <https://iris.wpro.who.int/handle/10665.1/5453>.
- [20] What are integrated people-centred health services? <https://www.who.int/servicedeliverysafety/areas/people-centred-care/ipchs-what/en/>
- [21] G. Ioppolo, F. Vazquez, M. G. Hennerici, E. Andrès. Medicine 4.0: New Technologies for Society 5.0.. *Journal of Clinical. Medicine*, 2020, 9(7), 2198. <https://doi.org/10.3390/jcm9072198>
- [22] Mammadova, Z. Jabrayilova. Electronic medicine: formation and scientific-theoretical problems. Baku, “Information Technologies” publishing house, 2019, 319 p.
- [23] J. Powell, I. Buchan. Electronic health records should support clinical research, *Journal of Medical Internet Research*, 2005, vol.7, no.1, p.e4, doi: 10.2196/jmir.7.1.e4.;
- [24] mHealth: New horizons for health through mobile technologies.WHO. Global Observatory for eHealth series, Vol. 3, 112 p. http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf.
- [25] R. M. Alguliyev, M. H. Mammadova. Essence, opportunities and scientific problems of e-medicine, *Problems of information society*, 2017, №2, 3–17. DOI: 10.25045/jpis.v08.i2.01
- [26] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, A. M. Isayeva. Conceptual approach to the use of information acquired in social media for medical decisions. *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 2020, 10(2), UNSP e202007 /ojcmt/7877. e-ISSN: 1986-3497
- [27] L. Rudolph, J. Caplan, K. Ben-Moshe, L. Dillon. *Health in All Policies: A Guide for State and Local Governments*. Washington, DC, and Oakland, CA: American Public Health Association and Public Health Institute; 2013.
- [28] M. H. Mammadova , S. M. Ahmadov. Impact of social media on the integration of disabled people to modern society, *Problems of information society*, 2017, №2, 47–55. DOI: 10.25045/jpis.v08.i2.06)
- [29] M. Mammadova, Z. Jabrayilova, T. Baydyk, H. Gasimov. Analysis of the Internet of Things capabilities in monitoring the physiological state and location of personnel on an offshore oil platform. In book: *Expert Assessments in Decision Making: Risks and Safety*, 2023, pp. 66–98. DOI: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch3>
- [30] M. Mammadova, Z. Jabrayilova, T. Baydyk, A. Ahmadova. Methodological approaches to the intelligent human factor management on an offshore oil and gas platforms. In book: *Expert Assessments in Decision Making: Risks and Safety*, 2023, pp. 99–129. DOI: 10.21303/978-9916-9850-2-1.ch4
- [31] М. Г. Мамедова. Интеллектуальное управление рынком труда ИТ-специалистов. Баку, 2029, “Информационные технологии”, 298 с.
- [32] M. H. Mammadova. The problems of information security of electronic personal health data, 7th IEEE International Conference on IT in Medicine and Education (ITME 2015), November 13-15, 2015, pp.678-682. DOI: 10.1109/ITME.2015.158.
- [33] G. Barclay, A. Sabina, G. Graham. *Population Health and Technology: Placing People First*, *American Journal of Public Health*, 2014; 104(12): 2246–2247.

Rəqəmsal Fəaliyyət və Uşaq Sağlamlığı: Fənlərarası Təhlil

Sabirə Ocaqverdiyeva

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
allahverdiyevsabira@gmail.com

Xülasə—Məqalədə uşaq və yeniyetmələrin təhsil, sosial münasibətlər və bilik əldə etmək üçün rəqəmsal texnologiyalardan istifadəsinin faydaları, onların fiziki və psixi sağlamlığına və psixologiyasına potensial təsirləri əks olunub. Uşaqların internetdən istifadəsindən yaranan risklər tibbi, psixoloji və pedaqoji aspektlərdən təhlil edilir. Rəqəmsal fəaliyyətin uşaqların sağlamlığına həm müsbət, həm də mənfi təsirləri fənlərarası bir yanaşma ilə araşdırılır. Məqalədə, həmçinin uşaqlar üçün sağlam rəqəmsal mühit yaratmaq üçün kompüterdən istifadə edərkən ergonomik duruşun vacibliyi izah edilir və onların rəqəmsal alətlərlə kritik və məlumatlı əlaqəsi üçün praktiki tövsiyələr verilir ki, bu da onlara onlayn dünyada təhlükəsiz və diqqətli şəkildə hərəkət etməyə imkan verir.

Açar sözlər—uşaq sağlamlığı; rəqəmsal texnologiyalar; ergonomik duruş; İnternet

I. GİRİŞ

Müasir uşaqlar rəqəmsal mühitin təsiri ilə böyüyür və kiçik yaşlarından texnologiyalardan istifadə edirlər [1]. Uşaq və yeniyetmələrin təhsil, əyləncə, sosiallaşma və s. kimi maraqları rəqəmsal mühit üzərində cəmləşmişdir. Mobil telefon, planşet və digər rəqəmsal cihazlardan istifadəsinin artması onların "rəqəmsal yerlilər" kimi adlandırılmasını reallaşdırır [2]. Rəqəmsal mühitdə fəaliyyət göstərmək, bu gün "rəqəmsal yerlilər" üçün geniş imkanlar yaratmaqla yanaşı müxtəlif problemlər də yaradır.

Təhlillər rəqəmsal texnologiyaların gənc uşaqların həyatına dinamik və sürətli şəkildə inteqrasiyasını vurğulayır. Xüsusilə, empirik sübutlar səkkiz yaşından kiçik uşaqlarda rəqəmsal mediaya erkən maraqla bağlı nəzərəcarpacaq dəyişikliklərin olduğunu göstərir. Uşaqların əhəmiyyətli bir hissəsinin, təxminən 40 faizinin – iki yaşına qədər olan istifadəçilərin şəxsi planşet cihazlarına sahib olması xüsusi narahatlıq doğurur. Bu tendensiya hər dörd uşaqdan birinin səkkiz yaşına qədər şəxsi mobil telefona sahib olması ilə bağlı statistika ilə daha da vurğulanır [3]. Süni intellekt erkən uşaqlıq dövrünə qədəm qoyur, valideynlərin təxminən üçdə biri övladının məktəblə bağlı öyrənmə üçün süni intellektdən istifadə etdiyini bildirir.

İnternet xidmətlərinin, Youtube, Tiktok, Instagram və s. kimi əyləncə və ünsiyyət platformalarının meydana gəlməsi, həmçinin son dövrlərdə COVID-19 pandemiyasının təsiri ilə yaranmış sosial və digər məhdudiyyətlər, artan ekran vaxtına şərait yaradır. Ekran vaxtı fərdin televizor, ağıllı telefon, planşet və ya kompüterlər kimi elektron və ya rəqəmsal cihazlarından istifadə etməklə keçirdiyi vaxta aid edilir [4].

Uşaqlar kiçik yaşlarından rəqəmsal cihazlardan istifadə etdiyindən onların onların ekrandan istifadə müddəti artır. Rəqəmsal fəaliyyət azyaşlı istifadəçilərin sağlamlığına və inkişafına mənfi təsir göstərir [5]. Digər tərəfdən fiziki, psixoloji və davranış pozğunluqlarına səbəb olur [6]. Kompüterlərin uşaqların sağlamlığına təsiri səhiyyə təşkilatları və təhsil müəssisələri tərəfindən müxtəlif təlimatların və qaydaların hazırlanmasını motivasiya edir.

Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) təlimatlarında 1 yaşa qədər körpələr üçün ekran vaxtının təyini tövsiyə edilmir. 2-4 yaşlı uşaqlar üçün ekran qasısında vaxt keçirməyin 1 saatdan çox olmaması şərti ilə təyin edilir [7]. Yeniyetmələr üçün bu təlimatların əsas prinsiplərinə ekran vaxtının minimuma endirilməsi, daha çox real ünsiyyət, aktiv şəkildə oyunlara üstünlük vermək, uşaqlarda daha çox idrakin inkişafına və ümumi sağlamlığa təsiri hesab edilir. ÜST tərəfindən 5 yaşdan kiçik uşaqlar üçün ekran vaxtı ilə bağlı xüsusi təlimatlar verilir [7].

Amerika Pediatriya Akademiyası isə 2-5 yaşında uşaqların öz valideynləri ilə birlikdə və yüksək keyfiyyətli məzmunla baxmaq şərti ilə 1 saatdan çox olmayaraq ekranla təması tövsiyə olunan hesab edir [8].

Kanada və Avstraliyada Səhiyyə təşkilatları uşaqlar və yeniyetmələrə (5-17 yaş) istirahət məqsədilə ekran vaxtını gündə 2 saatdan çox olmamaq şərti ilə məhdudlaşdırmasını tövsiyə edir. Onların aktiv oyuna və sosial qarşılıqlı fəaliyyətə daha çox üstünlük vermələrini, yemək vaxtı və yatmadan əvvəl isə ekranlardan çəkinmənin faydalı olduğu təlimatlarda öz əksini tapır. Burada gün ərzində ən azı 1 saat fiziki fəaliyyətlə məşğul olmağın faydalı olduğu vurğulanır [9, 10].

Smartfonlar, telefon və digər rəqəmsal cihazlar uşaqlara e-kitablar, oyun, əyləncə və təhsil proqramları vasitəsilə çatdırılan dəyərli məzmun təklif edir. Buna baxmayaraq, bu texnologiyalardan uzun zaman və ya yaş qrupuna uyğun olmayan şəkildə vaxt sərf etməklə istifadə olunması müəyyən sağlamlıq problemlərinin yaranmasına yol açır. Bunları nəzərə alaraq məqalədə rəqəmsal cihazlardan istifadənin uşaqların sağlamlığına təsiri ilə əlaqədar problemin fənlərarası təhlil edilir. Uşaqların sağlamlığına rəqəmsal cihazların, xüsusilə İnternetin təsiri araşdırılır, beynəlxalq təşkilatların tövsiyə və mülahizələri haqqında məlumat verilir.

II. RƏQƏMSAL FƏALİYYƏTİN UŞAQ SAĞLAMLIĞINA TƏSİRLƏRİ

Uşaqların İnternetin imkanlarından istifadəsi, xüsusilə oyunlara olan marağı, müxtəlif proqramlar vasitəsilə öz

yaradıcılıqlarını inkişaf etdirmək həvəsi və nəticədə saatlarla ekran qarşısında keçirilən vaxt onların sağlamlığına müxtəlif aspektlərdən təsir edir.

Tibbi aspektləri. Uşaqların fiziki sağlamlığı onların ümumi inkişafı və rifahı üçün çox vacibdir. Fiziki sağlamlıqda güclü təməl idrak funksiyasını, emosional sabitliyi və sosial inkişafı yaxşılaşdırır. Uşaq və yeniyetmələrin İnternetdə daha çox vaxt keçirməsi onların, mobil telefonlar, kompüterlər, oyun konsolları və s. kimi rəqəmsal cihazlardan istifadəsi sağlamlıqla bağlı ciddi problemlərə səbəb ola bilər, xüsusilə göz əzələləri güclü olmadığından monitora dikilmiş gözlər yorğunluq və vizual gərginlik yaşayır. Bəzi göz xəstəliklərinin məsələn, katarakta, göz quruluğu və görmə qabiliyyətinin azalması kimi hallara səbəb olur [11]. Bu isə sağlam vizual inkişafa diqqət yetirməklə ekrandan istifadə üçün balanslaşdırılmış vaxtın olmasının vacibliyini göstərir.

Ekrandan gələn mavi işıq melatonin ifrazını pozur, yuxusuzluğa və sirkadiyalı ritmlərin pozulmasına səbəb olur [11]. Melatonin qaranlığa cavab olaraq beyin ifraz etdiyi bir hormondur və bu isə uşağın yuxuya getməsinə kömək edir. Yuxu rejiminin pozulması uşaqlarda diqqət, konsentrasiya və davranış pozğunluğu ilə nəticələnə bilər.

Uşaqların fiziki görkəmi kiçik yaşlardan başlayaraq zaman-zaman formalaşır. Ekran qarşısında düzgün olmayan duruş, başın daimi irəli uzanması servikal onurğanın yükünü artırır, nəticədə uşaqlarda boyun ağrıların yaranmasına gətirib çıxarır [12]. Eyni zamanda inkişaf etməkdə olan onurğada stressi artıraraq, potensial olaraq osteoxondroz yarada və ya xəstəliyi ağırlaşdırır [12]. Sağlam ekran vaxtlarını təşviq etmək və fiziki fəaliyyətə həvəsləndirmək uşaqların dayaq-hərəkət sağlamlığının qorunması üçün vacibdir.

Ekran qarşısında vaxt keçirmənin daha bir mənfi cəhəti passiv həyat tərzini, fiziki fəaliyyətin olmaması və ya az olması nəticəsində yarana bilən piylənmə və ürək-damar xəstəliklərinə gətirib çıxaran halların olmasıdır. ÜST-ün təqdim edilən statistikaya əsasən 2022-ci ildə 5-19 yaş arası 390 milyondan çox uşaq və yeniyetmə, o cümlədən piylənmə ilə yaşayan 160 milyon uşaq artıq çəkiddən əziyyət çəkir [13].

Rəqəmsal cihazlardan istifadə zamanı, İnternet səhifələrində axtarış edərkən və s. vəziyyətlərdə məlumat axını istifadəçini daim tapşırıqlar arasında keçid etməyə məcbur edir. Bu isə uşaqlarda məlumatların işlənməsinin səmərəliliyini azaldaraq zehni yorğunluğa səbəb olur və diqqətin yayılmasına təsir göstərir [14].

Psixi sağlamlıq aspektləri. Uşaqlar və yeniyetmələrin ekran qarşısında keçirdikləri vaxt onları realıqdan uzaqlaşdırır. Uşaqların ekran mediasına böyük etibarını onların fərdi və sosial-emosional inkişafına zərər verə biləcəyi üçün ciddi ictimai sağlamlıq problemlərini gündəmə gətirmişdir.

Monitorda informasiya axınının dəyişməsi sürətlə izlənilir, burada şəkillərin və bildirişlərin sürətli dəyişməsi əslində uşağın beynini “ələ keçirir” və sabit konsentrasiyanın inkişafını çətinləşdirir [14,15]. Həmçinin yüksək ekran vaxtının əsəbilik, aşağı əhval-ruhiyyə və koqnitiv və sosial-emosional inkişafa zərərli təsirləri ilə əlaqəli olduğuna dair sübutlar var ki, bu da təhsildə zəif nəticələrin əldə olunmasına təkan verir [15].

Uşaq psixologiyası çox həssasdır, onlara qarşı kiber zorakılıq hallarının olması psixi sağlamlıq problemlərinə səbəb ola bilər. Bu problemlə qarşılaşma depressiya, ümitsizlik, dəyərsizlik və davamlı kədər hisslərinə səbəb ola bilər [1, 2].

Şəbəkədə mənfi onlayn şərtlərə və hücumlara təkrar-təkrar məruz qalma uşağın özünə dəyər verməsi, şəxsiyyət olaraq yanaşması hissini azaldır. Onlayn hücumların davamlı şəkildə olması uşaqlarda narahatlıq yaradır. Bu narahatlıqlar aqressivlik, əsəbilik və s. kimi davranışların nümayişinə gətirib çıxarır. Qlobal şəbəkədə rastlaşılan kiber zorakılıq halları bəzən uşağı intihar vəziyyətinə gətirib çıxara bilər ki, onlayn təcavüz nəticəsində yaranan güclü emosional sıxıntı özünə zərər vermə və intihara cəhd riskini artırır.

Qlobal şəbəkədə psixoloji zədə almış uşaqların özünə inam hissi get-gedə azalmağa başlayır, onlar qorxu və utanc səbəbiylə cəmiyyətdən qaçmağa, təcrid olunmağa üstünlük verirlər [2-5]. Bu tendensiya, bəzi hallarda onların real dünya ilə müqayisədə virtual mühitdə özlərini daha güvənli və komfortlu hiss etmələrinə gətirib çıxarır. Lakin, realıqdan uzaqlaşma halları, əksinə, uşaqlarda sosiallaşma prosesində müəyyən çətinliklər yarada bilər. Sosial qarşılıqlı əlaqənin məhdudlaşması, öz-özə ünsiyyət bacarıqlarının zəifləməsi və real sosial mühitə adaptasiya problemləri bu qəbildən olan narahatlıqlardandır.

Pedaqoji aspektləri. İnternetdə öyrədici xarakterli, uşaqlarda bilikləri artırır və s. oyunlar və videoların olması uşaqlar üçün faydalıdır. Lakin həddindən artıq ekran vaxtı, yalnız əyləncə üçün istifadə edildikdə, akademik performansla mənfi təsir göstərə bilər.

Ekranda daha çox vaxt keçirən uşaqların ev tapşırığına və dərslərə daha az vaxtı qalır ki, bu da onların dərslərdən aldığı qiymətlərin aşağı olmasına səbəb olur, məktəbə olan marağının azalmasına səbəb olur və ruh düşgünlüyü yaradır.

Uşaqlar oyunlara sərf etdiyi vaxt, distant tədris prosesində iştirak və s. maraqların təsiri ilə kompüter qarşısında daha çox vaxt keçirirlər, bu isə onların kompüter qarşısında duruşunun ergonomik olaraq düzgün tənzimlənməsini zəruri edir. Ergonomika iş sahəsinin tərtibatı, avadanlıq dizaynı və insanların imkanları kimi amilləri nəzərə alaraq rahatlığı, səmərəliliyi və təhlükəsizliyi artırmaq üçün mühitlərin layihələndirilməsi və təşkili elmidir [17]. Ergonomika işdə işçilərin imkanları və məhdudiyyətləri nəzərə alınmaqla dizayn edilməsini təmin edir, sağlamlıq, təhlükəsizlik rahatlıq, səmərəlilik və məhsuldarlığı optimallaşdırmaqla [18]

III. UŞAQLARIN KOMPÜTER QARŞISINDA ERQONOMİK DURUŞ QAYDALARI

Uşaqların kompüter qarşısında ergonomik duruş qaydalarına uyğun olaraq ABŞ-ın Kornell Universitetinin Ergonomika üzrə professoru, Alan Hedcinin rahat və ergonomik cəhətdən düzgün duruş üçün müəyyən tövsiyələri diqqət cəlb edir. Alimin fikrincə uşaqların istifadə etdiyi kompüter düzgün ergonomik qaydada qurulmuş olmadıqda, uzun müddət, monoton şəkildə oturmaq inkişafda olan orqanizm üçün mənfi nəticələrə gətirib çıxara bilər. Aşağıda uşağın kompüter qarşısında düzgün duruş qaydasına uyğun fikirlər öz əksini tapır [17]:

- Uşağın komputerdən istifadəsi zamanı ona lazım olan bütün əşyaların kompüter masasına yaxın olması məsədəuyğundur. Bu uşağın onları əldə etmək üçün hər dəfə əylməməsini mümkün edir;
- Kompüterin ekranı uşağın boyuna uyğun olaraq yerləşdirilməlidir, bu zaman azyaşlı ekrana baxmaq üçün boynunu arxaya, irəliyə, aşağıya və ya yuxarıya doğru əymək məcburiyyətində olmur və ekrana normal baxmaq imkanına malik olur;
- Uşağın istifadə etdiyi kompüterin yerləşdiyi sahədə işıqlandırmaya fikir verməli, otağın işıqlandırmasını və ekranın parlaqlığını düzgün tənzimləməlidir;

Digər müəlliflər uşağın istifadə etdiyi masanın hündürlüyünün 65-70 sm olması, çiyinlərin rahat və dik dayanmış dəstəklənmiş vəziyyətdə olması uyğun hesab olunur və aşağıda bəzi tövsiyələr verilir [16-19]:

- Uşağın əyləşdiyi kresloda ergonomik arxa yastığı yerləşdirməli, bunu digər uyğun vasitələrlə, məsələn, dəsmal və s. ilə əvəz etmək mümkündür;
- Oturacağın ön kənarı ilə dizlərin arxası arasında iki düym məsafə, kreslonun oturacağına sıxılmamalı olmalıdır;
- Uşağın əyləşdiyi kresloda qol dayaqlarının olması, onun dirsəklərinin kompüter klaviaturası ilə 70-135 dərəcə bucaq təşkil etməsinə uyğun olmalıdır;
- Uşağın dizləri təxminən 90-120 dərəcə olaraq açılmış vəziyyətdə yerləşmiş olmalı, bu vəziyyəti tənzimləmək üçün ayağın altına müəyyən dayaq vasitəsi, qutu, kiçik kətillər və ya digər uyğun əşya qoyulmalıdır.

Uşağın 20-30 dəqiqədən sonra fasilə etməsi, ayağa qalxaraq hərəkət etməsi və uzanıb dincəlməsi üçün təşviq edilməsi faydalıdır. Uşaqlar üçün “20-20-20 qaydası” –nın tətbiq edilməsi, onların bu qaydaya uyğun olaraq hər 20 dəqiqədən bir 20 saniyə ərzində 20 fut uzaqlıqdakı bir şeyə baxmasını tövsiyə etmək [18].

Uşaqlarla əlaqədar olan şəxslərin onlarda düzgün sağlam vərdişləri inkişaf etdirməyə nail olmaqla, onlarda yaranmış potensial dayaq-hərəkət sistemi problemlərinin vaxtında qarşısını almaq mümkün ola bilər. Uşaqlarda düzgün duruş haqqında məlumatlandırmanın olması və onların ergonomik təcrübələr barəsində bilməsində valideynlərin özləri maraqlı olmalı və hər bir uşağın psixologiyasını nəzərə almaqla sağlam vərdişləri modelləşdirməlidir.

IV. TÖVSIYƏLƏR

- Rəqəmsal cihazların uşaqlara təsiri yaş, inkişaf mərhələsi və fərdi zəifliklər kimi amillərdən asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə bilər. Yalnız cihazın istifadə müddətini deyil, həm də istehlak olunan məzmunun konteksi və xarakterini nəzərə almaq vacibdir. Valideynlərin fəal iştirakı, o cümlədən onlayn fəaliyyətlərin ardıcıl monitorinqi sağlam və balanslaşdırılmış rəqəmsal vərdişlərin təşviqində çox vacibdir. Uşaqların rəqəmsal cihazlardan məsul

istifadəsini dəstəkləmək üçün əsas tövsiyələr aşağıdakılardan ibarətdir:

- Uşaqlar üçün rəqəmsal cihazlardan istifadəni deyil, alternativ məşğuliyyətlər (istirahət və idman) təşviq edilməsi;
- Uşaqlarda real münasibətlər qurmağın formalaşdırılması və ünsiyyət bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi;
- Səhiyyə işçiləri tərəfindən uşaqların rəqəmsal fəaliyyətləri ilə əlaqəli görmə, duruş və digər xəstəlikləri müəyyən etmək üçün profilaktik müayinələr aparmaq və konkret təkliflərin işləməsi;
- İnternetdə psixoloji zədə almış uşaqlara psixoloji yardım göstərmək və onların realitəti üçün proqramların işlənməsi;
- Rəqəmsal texnologiya tərtibatçıları tərəfindən İnternetdən təhlükəsiz istifadə ilə əlaqəli təhsil proqramları və platformaların yaradılması;
- Uşaqları kiber zorakılığın qurbanına çevrilməməsi üçün açıq ünsiyyət, təhsil və müdaxilənin olması və s.

Yuxarıda qeyd edilən tədbirlər uşaqların rəqəmsal mühitin təsirindən yaranmış sağlamlıqla əlaqəli problemlərinin həllində faydalı ola bilər. Bu məsələnin çoxşaxəli xarakterini dərk edərək, səhiyyə və təhsil mütəxəssislərinin biliklərini valideynlərin dəyərli perspektivləri ilə birləşdirən əməkdaşlıq yanaşması zəruridir. Bu inteqrasiya olunmuş anlayış rəqəmsal təcrübələrin həssas uşaqlara təsirinin qiymətləndirilməsində xüsusilə mühüm əhəmiyyət kəsb edəcək, potensial zərərləri azaltmaq və davamlılığı gücləndirmək üçün effektiv strategiyaların işlənilib hazırlanmasına imkan verəcəkdir.

V. NƏTİCƏ

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaları uşaqların gündəlik həyatından tamamilə kənarlaşdırılmasını praktik olaraq qeyri-mümkündür. Buna baxmayaraq, valideynlər və digər müvafiq tərəflər uşaqların rəqəmsal texnologiyalarla adekvat və faydalı qarşılıqlı əlaqəsini təşviq etməli və bu istiqamətdə dəstək göstərməlidirlər.

Daim inkişaf edən rəqəmsal mənzərəni effektiv şəkildə idarə etmək və uşaqların rifahını qorumaq üçün onların onlayn fəaliyyətləri və sonrakı təsirləri haqqında anlayışımızı artırmaq çox vacibdir. Bu, siyasətlərin və müdaxilələrin sürətli texnoloji irəliləyişlər, dəyişən rəqəmsal vərdişlər və yaranan rifah narahatlıqları arasında aktual qalmasını təmin etmək üçün birgə səy tələb edir. Bu istiqamətdə kritik addım uşaqların ekran vaxtı, onların rəqəmsal məşğuliyyətlərinin spesifik xarakteri və qarşılaşdıqları məzmunla bağlı hərtərəfli məlumat toplamaq qabiliyyətimizi gücləndirməyi nəzərdə tutur. Bundan əlavə, bütün yaş qruplarında ekrana məruz qalma və rəqəmsal istifadənin uzunmüddətli nəticələrinə dair daha dərin fikirlər əldə etmək üçün uzunlumasına tədqiqatların həyata keçirilməsi vacibdir. Bu cür tədqiqat həm də uşaqların rəqəmsal davranışlarını formalaşdıran amilləri və onların ümumi rifahla mürəkkəb əlaqəsini açmaqda mühüm rol oynayacaqdır.

Rəqəmsal cihazların uşaqların sağlamlığına olan təsiri çoxşaxəli və dinamik bir tədqiqat sahəsinə təşkil edir. Bu cihazlardan istifadənin uşaqların sağlamlığına uzunmüddətli nəticələrini hərtərəfli anlamaq üçün davamlı elmi araşdırmaların aparılması zəruridir. Uşaqların internet istifadəsi zamanı ortaya çıxan problemlərin və çətinliklərin elmi əsaslarını dərk etmək, həddindən artıq onlayn fəaliyyətin mənfi təsirlərini minimallaşdırmaq və onların psixi rifahını optimallaşdırmaq məqsədilə effektiv strategiyaların işlənilib hazırlanması xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT

- [1] R.M.Algulyev and S.S. Ojagverdiyeva, "Conceptual model of national intellectual system for children safety in internet environment." *International Journal of Computer Network and Information Security*, 2019, 14(3), pp. 40-49. Doi:10.5815/ijcnis.2019.03.06
- [2] G. Eason, B. Noble, and I. N. Muppalla, S. K., Vuppapapati, S., Pulliahgaru, A. R., Sreenivasulu, H., & kumar Muppalla, S. (2023). "Effects of excessive screen time on child development: an updated review and strategies for management." *Cureus*, 2023, 15(6):e40608. doi: 10.7759/cureus.40608
- [3] R.Templeton, A New Report Reveals a Quarter of Kids 8 & Under Have Cell Phones — & Other Surprising Statistics, 7 mart 2025, https://www.yahoo.com/lifestyle/report-reveals-quarter-kids-8-163920835.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly9nZW1pbnkuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAACrFfZc3cqaepZxTHp1fgBTuPj1w-_Sc-a7e5ooCcXl-p4H_ZEHbQUMDWp8yUM0petehZ9F02tJ91vsIDZoOBMb3HWDSSaXi hQJzIyC_isS9aFYjmvLRnum-dAh562AUXWcxmfeH_EuuyFMgwGUTv5bMtp8qeeNztuW9J9HAKAl-q
- [4] S. E.Barber, B.Kelly, P. J. Collings, L.Nagy, T.Bywater & J. Wright. "Prevalence, trajectories, and determinants of television viewing time in an ethnically diverse sample of young children from the UK.", *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14, pp.1-11.
- [5] A.Haddock, N.Ward, R.Yu & N.O'Dea, "Positive effects of digital technology use by adolescents: A scoping review of the literature", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(21), p.14009
- [6] N. A. I. Zahra., & Alanazi, A. A. "Digital childhood: The impact of using digital technology on children's health." *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 2019, 8(3), pp.144-154.
- [7] To grow up healthy, children need to sit less and play more, <https://www.who.int/news/item/24-04-2019-to-grow-up-healthy-children-need-to-sit-less-and-play-more>
- [8] New WHO guidance: Very limited daily screen time recommended for children under 5, <https://www.aoa.org/news/clinical-eye-care/public-health/screen-time-for-children-under-5>
- [9] A. D.Okely, D.Ghera, K. D.Hesketh, R.Santos, S. P.Loughran, D. P.Cliff, , ... & Tremblay, M. S. A collaborative approach to adopting/adapting guidelines-The Australian 24-Hour Movement Guidelines for the early years (Birth to 5 years): an integration of physical activity, sedentary behavior, and sleep. *BMC public health*, 2017, 17, pp. 167-190.
- [10] A. D.Okely, D.Ghera, K. D.Hesketh, R.Santos,... & M. S. Tremblay. A collaborative approach to adopting/adapting guidelines-The Australian 24-Hour Movement Guidelines for the early years (Birth to 5 years): an integration of physical activity, sedentary behavior, and sleep. *BMC public health*, 2017, 17, pp.167-190.
- [11] L. Lund, I. N.Sølvhøj, D.Danielsen & S. Andersen,"Electronic media use and sleep in children and adolescents in western countries: a systematic review.", *BMC public health*, vol. 21, pp. 1-14.
- [12] M.Frosch, M. D.Mauritz, S.Bielack, S.Blödt, U.Dirksen, M. Dobe, and B.Hübner-Möhler, "Etiology, risk factors, and diagnosis of back pain in children and adolescents: evidence-and consensus-based interdisciplinary recommendations", *Children*, 2022, 9(2), pp.192.
- [13] Obesity and overweight, 1 March 2024, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- [14] L.P. Thiele, "Distraction and Dependence: The Loss of Reflective Self-Direction. In: Human Agency, Artificial Intelligence, and the Attention Economy" Palgrave Macmillan, Cham, 2025, pp 67-111. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82086-1_3
- [15] S. Domingues-Montanari, "Clinical and psychological effects of excessive screen time on children. *Journal of paediatrics and child health*" 2017, 53(4), pp. 333-338.
- [16] S.S. Ocaqverdiyeva, "Müasir texnologiyaların uşaqların sağlamlığına ziyanlı təsirləri və onlardan qorunma mexanizmləri", "Elektron tibbin multidissiplinar problemləri" I respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, 2016, s. 281-283.
- [17] Is your child using computer in a comfortable and ergonomically correct way?, <https://blog.kindiedays.com/blog/is-your-child-using-computer-in-a-comfortable-and-ergonomically-correct-way>
- [18] R.Martins Diogo, S.M. Cerqueira, and P. S. Cristina, "Combining inertial-based ergonomic assessment with biofeedback for posture correction: A narrative review" *Computers & Industrial Engineering*, 2024, vol.190, pp. 110037.
- [19] The Exceptional Wellness Centres, Children & Good Computer Ergonomics, <https://www.theexceptionalwellnesscenter.com/post/children-good-computer-ergonomics>

Süni İntellektin Köməyi ilə Tibb Sahəsində Görüntülərin Tanınması: İmkanlar və Perspektivlər

İsmayıl Qafarov¹, Rəmzi Əliyev², Şəbnəm Hacıyeva³

Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹dr.gafarov@hotmail.com, ²ramzi.aliyev@amu.edu.az ³s.hajieva@amu.edu.az

Xülasə— Tibbdə görüntülərin tanınması tibbi görüntülərin avtomatik analizi vasitəsilə patologiyaların və anomaliyaların müəyyən edilməsini əhatə edir. konvolyusional neyron şəbəkələri kimi müasir süni intellekt alqoritmləri müxtəlif xəstəliklərə xas olan mürəkkəb vizual nümunələri dəqiq müəyyən etmək üçün böyük məlumat həcmələri üzərində öyrədilir. Bundan əlavə, bu texnologiyalar həkimlərin qərar qəbul prosesini dəstəkləyici sistemlər kimi çıxış edir. Məsələn, süni intellekt sistemi MRT görüntülərində şiş toxumasını tanıdıqda, həkimə həmin sahəyə xüsusi diqqət yetirməyi tövsiyə edə bilər. Bu, insan gözündən yayınan incə detalları belə nəzərdən qaçmamasına kömək edir. Süni intellektin tətbiqi həmçinin ikinci rəy (second opinion) funksiyası kimi xidmət edir və tibbi xəstəliklərin azalmasına töhfə verir.

Aşar sözlər: süni intellekt, diaqnozlar, tibbi tətbiqlər, həkimlər, tibbi xidmətlər, tibbdə inqilab, konvolyusional neyron şəbəkələri, tibbi görüntülər, təsvirin tanınması, təsnifat şəkillər, beyin şişi.

I. GİRİŞ

Tibbi sahə daim inkişaf edən və yeni texnologiyaların integrasiyası ilə daha da təkmilləşən bir sahədir. İnsan sağlamlığını qorumaq və xəstəliklərin müalicəsində yüksək effektivliyə nail olmaq üçün müasir yanaşmaların tətbiqi həkimlərin və tədqiqatçıların əsas məqsədlərindən biridir. Bu kontekstdə süni intellekt (SI) texnologiyaları tibb sahəsində inqilabi dəyişikliklərə səbəb olur.

Süni intellektin (SI) köməyi ilə tibb sahəsində görüntülərin tanınması ən ümidverici və sürətlə inkişaf edən sahələrdən biridir. Dərin neyron şəbəkələri (DNŞ) və konvolyusional neyron şəbəkələri (KNŞ) kimi müasir alqoritmlər, rentgen, MRT, KT və elektron mikroskopiya (EM) kimi tibbi görüntüləri təhlil edərək xəstəliklərin diaqnostikasının dəqiqliyini və sürətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Bu, tibb xidmətlərinin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaqla yanaşı, yeni müalicə və profilaktika üsullarının inkişafına da kömək edir [1, 2].

II. TİBBİ DİAQNOSTİKADA SÜNİ İNTELLEKT

Tibbi diaqnostikada süni intellekt mammoqrafiya, KT və MRT analizləri vasitəsilə xərcəng kimi xəstəliklərin erkən mərhələdə aşkarlanmasına kömək edir. Alqoritmlər insan tərəfindən nəzərdən qaça biləcək kiçik şişləri və anomaliyaları aşkar edə bilər.

Elektron mikroskopiya tibbi diaqnostikada yüksək həll olunan hüceyrə və toxuma strukturlarının detallı görüntülərini

təmin edir. Süni intellekt elektron mikroskopiya görüntülərini təhlil edərək virusların, bakteriyaların və hüceyrə anomaliyalarının dəqiq identifikasiyasında istifadə oluna bilər. Bu, xüsusilə infeksiyon xəstəliklərinin araşdırılması və müalicəsində vacibdir.

Tibbi görüntülərin daxil edilməsi süni intellekt modellərinin öyrədilməsi üçün əsasdır. Bu prosesdə müxtəlif növ tibbi görüntülər (rentgen, MRT, KT, EM) böyük həcmdə toplanır və etiketlenir. Etiketləmə mütəxəssislər tərəfindən görüntülərdəki patologiyaların və normal strukturların dəqiq müəyyən edilməsi və qeyd olunması deməkdir. Bu etiketlenmiş məlumatlar modellərin öyrədilməsi üçün istifadə edilir və modellər bu məlumatlar üzərində öyrədilərək müxtəlif tibbi vəziyyətləri tanımaqla dəqiqləşdirilir [3, 4].

Maşın öyrətmə prosesində əsas addımlar: məlumatların hazırlanması; modelin öyrədilməsi; modelin yoxlanılması; modelin test edilməsi; modelin təkmilləşdirilməsidir. Bu mərhələlər üzrə yerinə yetirilir:

- Tibbi görüntülər toplanır, etiketlenir və öyrədilməyə hazır vəziyyətə gətirilir. Bu mərhələdə məlumatların keyfiyyəti və dəqiqliyi çox vacibdir.

- KNŞ alqoritmləri etiketlenmiş tibbi görüntülər üzərində öyrədilir. Model müxtəlif nümunələri öyrənir və patologiyaları müəyyən etmə qabiliyyətini inkişaf etdirir.

- Öyrədilmiş model yeni, əvvəlcə görmədiyi tibbi görüntülər üzərində test edilir və onun nəticələri qiymətləndirilir.

- Modelin dəqiqliyi, həssaslığı və spesifikliyi ölçülür

- Əldə edilən nəticələrə əsasən, modelin parametrləri təkmilləşdirilir və yenidən öyrədilir. Bu proses modelin nəticələrini üstünlüyünü artırmaq üçün təkrarlanır [5].

Süni intellekt daha dəqiq və sürətli diaqnostika təmin edir, insan faktorundan qaynaqlanan səhvləri azaldır və həkimlərin daha mürəkkəb məsələlərə diqqət yetirməsinə imkan verir. O həmçinin tibbi diaqnostikanın standartlaşdırılmasına və tibb xidmətlərinin əlçatanlığının artırılmasına kömək edir.

Tibbdə süni intellekt vasitəsilə görüntülərin tanınmasının gələcəyi alqoritmlərin daha da yaxşılaşdırılması, elektron tibbi qeydlər və teleəmələ inteqrasiyası, eləcə də yeni diaqnostika və müalicə metodlarının inkişafı ilə bağlıdır. Hesablama texnikasının imkanlarının inkişafı və böyük məlumatların əlçatanlığı, informasiya kanallarının sürətinin artırılması ilə

süni intellekt tibb praktikasının ayrılmaz hissəsinə çevriləcək, tibb xidmətlərinin keyfiyyətinin artırılmasına və əhalinin sağlamlığının yaxşılaşdırılmasına kömək edəcək. Belə ki, ilk olaraq onu vurğulayaq ki, süni intellektlə təchiz edilmiş tibbi robotlar cərrahiyyə əməliyyatlarında dəqiqliyi artırır:

- Mikroinvaziv əməliyyatlar zamanı robotlar yüksək dəqiqliklə hərəkət edərək toxumalara zərər vermədən müdaxilə edə bilər.

- Cərrahi proseslərin idarə olunması və nəticələrin optimallaşdırılması asanlaşır [6].

- Süni intellektin tibdə tətbiqi son illərdə səhiyyə sahəsində mühüm dəyişikliklərə səbəb olub. Lakin bu texnologiyanın geniş miqyasda tətbiqi bir sıra çətinliklərlə qarşılaşır. Əsas çətinliklər texnoloji, etik, hüquqi və sosial məsələlərlə bağlıdır.

İlk növbədə, tibbi məlumatların keyfiyyəti və əlçatanlığı süni intellektin düzgün işləməsi üçün vacibdir. Lakin tibbi məlumatların müxtəlifliyi, tam olmaması və qeyri-dəqiqliyi nəticəsində alqoritmlər yanlış nəticələr verə bilər. Həmçinin, məlumatların təhlükəsizliyi və gizliliyi məsələləri də ciddi narahatlıq doğurur.

- Texniki məsələlər də çətinlik təşkil edir. Süni intellektin effektiv işləyə bilməsi üçün güclü hesablama resursları tələb olunur. Bu isə kiçik klinikalar və ya inkişaf etməkdə olan ölkələrdə problem yarada bilər. Alqoritmlərin dəqiqliyi və təlimi üçün əlavə vaxt və resurs tələb olunur, həmçinin hər bir regionda tibbi yanaşmalar fərqli olduğu üçün alqoritmlərin lokal şərtlərə uyğunlaşdırılması vacibdir.

- Etik və hüquqi məsələlər də süni intellektin tibdə tətbiqi ilə bağlı böyük narahatlıqlara səbəb olur. Xəstə məlumatlarının qorunması, alqoritmlərin səhv qərarlar verməsi halında məsuliyyətin kimə aid olması kimi məsələlər, hüquqi və etik baxımdan müzakirə edilməlidir. Bütün bu məsələlər, süni intellektin tibdə uğurla tətbiqi üçün əhəmiyyətli maneələr yaradır.

- Eyni zamanda, süni intellektin tibdə istifadəsi insan faktorunun yerini almağa başladıqca, həkimlər və xəstələr arasında etibar məsələləri ortaya çıxır. Həkimlərin alqoritmlərə etibar etməməsi və xəstələrin süni intellektin verdiyi qərarlara inamsızlığı da bu sahədə yaşanan çətinliklərdən biridir.

- Son olaraq, süni intellektin tibdə tətbiqinin genişlənməsi üçün müasir texniki avadanlıqlara və proqram təminatına ehtiyac var. Lakin bu resursların əlverişliliyi bəzi bölgələrdə və ya kiçik səhiyyə müəssisələrində məhdud ola bilər [7].

Bütün bu çətinliklərə baxmayaraq, süni intellektin tibdə tətbiqi gələcəkdə səhiyyə xidmətlərinin daha sürətli, effektiv və dəqiq olmasına imkan yaradacaq. Ancaq bunun üçün texnoloji inkişaf, hüquqi və etik məsələlərin həlli və tibbi işçilərin texnologiyalara uyğunlaşdırılması vacibdir.

Beyin şişlərinin bütün növləri sağlamlığa ciddi təhlükə yaradır, çünki beyin bütün bədən funksiyalarını idarə edir. Həm xoş, həm də bədxassəli beyin şişləri bədən funksiyalarını ciddi şəkildə poza bilər və ölümcül ola bilər. Beyin şişlərinin diaqnozu olduqca çətindir, çünki xəstəliyin əlamətlərinin əksəriyyəti daha az ciddi xəstəliklərin simptomları ilə səhv

edilə bilər. Buna görə də beyin şişlərinin erkən diaqnozu vacibdir. Bu, müalicənin müsbət nəticələrə səbəb olacağı ehtimalını artırır. Xəstəliyin gec mərhələlərini müalicə etmək çətinidir və müalicənin özü yan təsirlərə və ya beyin zədələnməsinə səbəb ola bilər. Hal-hazırda çoxlu sayda müxtəlif tədqiqatlar tibbi təsvirlərin emalı üçün maşın öyrənmə alqoritmlərindən və dərin neyron şəbəkələrindən istifadə imkanlarına həsr edilmişdir. Daxili orqanların və onların patologiyalarının aşkarlanması və seqmentləşdirilməsi üçün dərinə öyrənmə üsullarından geniş istifadə olunur.

Tədqiqatçıların əksəriyyətinin üzlaşdığı tibb sahəsində süni intellekt metodlarının tətbiqi ilə bağlı çətinliklərdən biri də istifadə olunan alqoritmlərin öyrədilməsi üçün giriş məlumatlarının kifayət qədər olmaması, habelə gələcək təsnifat üçün tibbi müayinələrin nəticələrinin keyfiyyətcə təsviridir. Daxil edilən məlumatlar kifayət etmədikdə təsvirin tanınmasının dəqiqliyini artırmaq probleminin həlli yolu ötürmə öyrənməsidir. Bu məqalə beyin şişi diaqnozu qoyulmuş xəstələrin rentgen şəkillərinin məlumat bazası nümunəsindən istifadə edərək tibbi təsvirlərin tanınması üçün konvolyusiya neyron şəbəkəsi modelinin qurulmasına həsr edilmişdir. Arxitekturasına iki konvolyusiya qatı və bir tam əlaqəli təbəqə daxil olan konvolyusiya neyron şəbəkəsinin modeli təklif edilmişdir. Quraşdırılmış təsnifatçının etibarlılıq və dəqiqlik nəticələri əvvəlcədən hazırlanmış VGG-16, VGG-19, Inception-V3, InceptionResNet-V2, ResNet-50, ResNet-152 və Xception modelləri əsasında əldə edilmiş nəticələrlə müqayisə edilmişdir. Nəzərdən keçirilən konvolyusiya Neyron şəbəkə modelləri test verilənlər bazasında 95,36%-dən 98,84%-ə qədər təsvirin tanınma dəqiqliyinə nail olub. Beyin şişinin tanınması probleminin həllində nəticələrin ən yüksək etibarlılığına VGG-16, VGG-19, Xception və təklif olunan model nail olunub. Bununla belə, qurulan modellərin təlim müddəti neyron şəbəkəsinin arxitekturasından asılı olaraq dəyişir. Bundan əlavə, təklif olunan konvolyusiya neyron şəbəkə modeli üçün beyin şişi diaqnozu qoyulmuş xəstələrin rentgen nümunələri arasında aşkar edilməmiş xəstəlik əlamətlərinin faizi 0,783% təşkil etmişdir.

Təklif olunan neyron şəbəkə modeli beyin şişinin diaqnostikasında həkim üçün əlavə vasitə kimi çıxış edə bilər. Kompüter görmə alqoritmlərinin həkimin gündəlik işinə tətbiqi xəstənin operativ əlavə müayinəsinə, diaqnostika və vaxtında müalicəyə imkan verəcək. Süni intellekt alqoritmlərinə əsaslanan xidmətlərdən istifadə diaqnostik testlər üçün ümumi vaxtı azalda, xəstəliyin erkən mərhələsində patologiyaları müəyyən edə və müalicənin müsbət nəticələrə səbəb olacağını daha çox gözləyə bilər. Hal-hazırda tibb sahəsində rəqəmsal şəkillər müxtəlif patologiyaların diaqnozu üçün getdikcə daha çox istifadə olunur. Beyin şişlərinin erkən aşkarlanması xəstəliyin effektiv müalicəsi üçün vacibdir. Bununla belə, beyin şişlərinin təsnifatı əhəmiyyətsiz bir iş deyil. Beyin şişlərini aşkar etmək və təsnif etmək üçün ümumi qəbul edilmiş üsul, görüntüləmə xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirən və təhlil edən radioloqların təcrübəsinə əsaslanan şəxsin müayinəsidir. Bundan əlavə, operator əsaslı təsnifat üsulları böyük həcmdə məlumat üçün praktiki deyil və eyni zamanda təkrar istehsal olunmur. Buna görə də, bu problemləri həll etmək üçün kompüter diaqnostik vasitələrindən istifadə etmək çox arzuolunandır. Beyin şişlərinin təsnifatı adətən iki fərqli vəzifəni əhatə edir:

şəkillərin normal və anormal siniflərə təsnifatı və anormal beyin təsvirlərinin müxtəlif növ patologiyalara təsnifatı.

III. TİBDƏ SÜNİ İNTELLEKT VASİTƏSİLƏ TİBB XİDMƏTLƏRİNİN KEYFİYYƏTİNİN ARTIRILMASI

Tibbdə süni intellekt vasitəsilə görüntülərin tanınmasının gələcəyi alqoritmlərin daha da yaxşılaşdırılması, elektron tibbi qeydlər və teletəbabətə inteqrasiyası, eləcə də yeni diaqnostika və müalicə metodlarının inkişafı ilə bağlıdır. Hesablama texnikasının imkanlarının inkişafı və böyük məlumatların əlçatanlığı, informasiya kanallarının sürətinin artırılması ilə süni intellekt tibb praktikasının ayrılmaz hissəsinə çevriləcək, tibb xidmətlərinin keyfiyyətinin artırılmasına və əhalinin sağlamlığının yaxşılaşdırılmasına kömək edəcək. Belə ki, ilk olaraq onu vurğulayaq ki, süni intellektlə təchiz edilmiş tibbi robotlar cərrahiyyə əməliyyatlarında dəqiqliyi artırır: Mikroinvaziv əməliyyatlar zamanı robotlar yüksək dəqiqliklə hərəkət edərək toxumalara zərər vermədən müdaxilə edə bilər. Cərrahi proseslərin idarə olunması və nəticələrin optimallaşdırılması asanlaşır. Süni intellektin tibbdə tətbiqi son illərdə səhiyyə sahəsində mühüm dəyişikliklərə səbəb olub. Lakin bu texnologiyanın geniş miqyasda tətbiqi bir sıra çətinliklərlə qarşılaşır. Əsas çətinliklər texnoloji, etik, hüquqi və sosial məsələlərlə bağlıdır. Göründüyü kimi, SİT robot cərrahiyyəsi sahəsində dəqiq və mürəkkəb əməliyyatları yerinə yetirmək baxımından daha səmərəli və effektivdir. SİT real vaxt rejimində xəstə məlumatlarını emal edə, tibbi cihazlardan əldə olunan məlumatları təhlil edə və əməliyyat zamanı yarana bilən problemlərə uyğun göstərişlər verə bilər.

IV. GƏLƏCƏK PERSPEKTİVLƏR

Təməssiz idarə olunan texnologiyalar, robototexnika, elektron tibb və teletibb layihələrinin səhiyyə sahəsinə inteqrasiyası tibb sahəsində potensial dəyişikliklərə səbəb olmuş və müasir tibbin qarşısında yeni perspektivlər açmışdır. Süni intellektin tibbdəki gələcək perspektivləri insan əməyini tamamilə əvəz etmək deyil, əksinə, həkimlərin və səhiyyə işçilərinin işini daha effektiv və dəqiq şəkildə təkmilləşdirmək olacaq. Həkimlər süni intellektin verdiyi məlumatları daha doğru qiymətləndirə və daha sürətli qərarlar qəbul edə biləcəklər [8]. Gələcəkdə süni intellekt səhiyyə xidmətlərində qlobal bərabərsizliklərin aradan qaldırılmasına da töhfə verəcək. İnkişaf etməkdə olan ölkələrdə və uzaq bölgələrdə tibbi xidmətlərə daha asan və effektiv şəkildə çatmaq mümkün olacaq. Süni intellekt əsaslı diaqnostik alətlər və tətbiqlər, həkimlərin və tibbi işçilərin təcrübəsiz olduğu yerlərdə belə tibbi xidmətlərin keyfiyyətini artıracaq [9]. Süni intellektin tibbdə tətbiqi həkimlərin daha yüksək səviyyədə təhsil almasını və texnoloji bacarıqlara sahib olmalarını tələb edir. Bu səbəbdən tibbi təhsil proqramları yalnız ənənəvi tibbi bilikləri deyil, eyni zamanda məlumat texnologiyaları və süni intellekt sahələrini də əhatə etməlidir. Bu, həkimlərə texnoloji alətləri və alqoritmləri mənimsəməyə, onların klinik vəziyyətlərdə necə tətbiq olunduğunu başa düşməyə kömək edəcəkdir [10]. Yeni tədris proqramları həkimlərin süni intellektin təqdim etdiyi məlumatları düzgün şərh etmələrini və klinik qərar qəbul etmə prosesinə inteqrasiya etmələrini təmin etməlidir. Belə proqramlar həkimlərin süni intellektin imkanlarını və məhdudiyyətlərini anlamalarına, həmçinin bu texnologiyanın onların peşə fəaliyyətinə necə təsir göstərə biləcəyini

öyrənmələrinə kömək edəcəkdir. Eyni zamanda, bu tədris proqramları həkimlərin klinik təcrübə ilə yanaşı, süni intellektin istifadəsi ilə bağlı nəzəri və praktik biliklərə sahib olmalarını təmin edəcəkdir. Bu, onların müasir səhiyyə problemlərini daha effektiv şəkildə həll etmələrinə şərait yaradacaq [11]. Süni intellektin tibbdə görüntü tanıma sahəsindəki tətbiqləri səhiyyə sahəsinin gələcəyini ciddi şəkildə dəyişdirə biləcək gücə malikdir. Bu texnologiya tibbi şəkillərin sürətli və dəqiq analizini təmin etməklə, həkimlərin daha doğru və vaxtında diaqnoz qoymasına kömək edir. Son illərdə süni intellektin tibbi görüntülərin təhlili sahəsindəki inkişafı, radiologiya, patoloji və dermatologiya kimi sahələrdə nəzərəcarpacaq nəticələr əldə etməyə imkan vermişdir.

V. NƏTİCƏ

Bu texnologiyanın tibbi praktikada tətbiqi yalnız xəstəliklərin erkən diaqnozu və müalicəsi sahəsində deyil, həm də xəstələrin izlənməsi, əməliyyat öncəsi və sonrasını qiymətləndirmək, tibbi məlumatları daha effektiv şəkildə idarə etmək kimi bir çox başqa imkanlar təqdim edir. Həkimlər üçün vaxt itkisinin azaldılması, səhv diaqnozların minimuma endirilməsi və ümumilikdə səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətinin artırılması süni intellektin ən böyük üstünlüklərindən biridir.

İSTİNADLAR

- [1] McCarthy J. (2024) What is artificial intelligence? URL: <https://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>
- [2] Srivastava R. (2023) Applications of artificial intelligence in medicine. Explor Res Hypothesis Med. Published online: Sep. 19. <https://doi.org/10.14218/ERHM.2023.00048>.
- [3] Алексеева М.Г., Зубов А.И., Новиков М.Ю. (2022) Искусственный интеллект в медицине. Международный научно-исследовательский журнал.; 7: 10-3. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.038>.
- [4] Гусев А.В., Добридюк С.Л. (2017) Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении. Информационное общество № 4-5, с.78-95
- [5] Simon K. & Zisserman A. (2021) Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. arXiv preprint: arXiv 1409.1556, 2014. URL: <https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf> (дата обращения 06.10.2021)
- [6] Доступные модели приложений Keras. (2021) URL: <https://keras.io/api/applications/> (дата обращения 06.05.2021).
- [7] Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J. (2021) Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. arXiv preprint: arXiv:1512.00567v3, 2015. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567v3.pdf> (дата обращения 06.10.2021)
- [8] Jimma B.L. (2023) Artificial intelligence in healthcare: a bibliometric analysis. Telemat Inform Rep.; 9 (Suppl. 1): 100041. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100041>.
- [9] Briganti G., Le Moine O. (2020) Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. Front Med.; 7: 27. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00027>.
- [10] <https://md.school/blog/iskusstvennyj-intellekt-v-medicine>
- [11] Ламоткин А.И., Корабельников Д.И., Ламоткин И.А., Лившиц С.А., Перевалова Е.Г. (2024) Искусственный интеллект в здравоохранении и медицине: история ключевых событий, его значимость для врачей, уровень развития в разных странах. фармакоэкономика и фармакоэпидемиология.; 17(2):243-250

Power BI Platformasında Fərdmərkəzli Tibbi Rəqəmsal Əkizin Yaradılması Algoritmi

Məsumə Məmmədova¹, Zərifə Cəbraylova², Aytən Əhmədova³, Mehriban Hüseynova⁴

^{1,2,3} ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

⁴ Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²djabrailova_z@mail.ru, ³ayten.adia1996@gmail.com, ⁴mehribanhuseynova9@gmail.com

Xülasə— Məqalədə rəqəmsal əkizlər texnologiyasının mahiyyəti və arxitektura-texnoloji prinsipləri verilmişdir. İnsan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində rəqəmsal əkizinin qurulması mərhələləri təklif edilmiş, virtual obyektin sxematik təsviri işlənmişdir. Fiziki obyektə baş verən hər hansı bir dəyişikliklərin virtual obyektə yenilənməsini əyani təqdim etmək üçün Power BI tətbiqi seçilmiş, tibbi məlumatların vizuallaşdırılması əsasında rəqəmsal əkizin yaradılması algoritmi işlənmişdir. Real informasiya mənbəyi kimi həkimlər tərəfindən sirroz xəstəlikləri ilə bağlı yaradılmış milli verilənlər bazasından istifadə edilmişdir. Tibbi verilənlərin vizuallaşdırılması əsasında yaradılan rəqəmsal əkizin idarəetmə paneli müayinə nəticələrinin dinamik dəyişməsinə izləməyə imkan verir.

Açar sözlər— rəqəmsal texnologiya; virtual obyekt; fərdmərkəzli rəqəmsal əkiz; vizuallaşdırma; Power BI; rəqəmsal əkizin idarəetmə paneli

I. GİRİŞ

Bu gün tibbin, demək olar ki, bütün sahələrində rəqəmsal texnologiyalar kompleks və məqsədyönlü şəkildə tətbiq olunur. Əgər əvvəllər heterojen təbiətli tibbi məlumatların generasiyası, toplanması, birgə emalı çox vaxt tələb edirdisə və oflayn rejimdə reallaşdırılırdısa, hazırda bu informasiyanın real vaxt rejimində emal olunmasına imkanlar yaranmışdır.

Rəqəmsal texnologiyaların istifadəsi tendensiyaalarının sürətlənməsi onun sərhədlərini və imkanlarını genişləndirir və nəticədə “rəqəmsal transformasiya” fenomeninin meydana gəlməsinə şərtləndirir. Rəqəmsal transformasiya, verilənlərin informasiyaya və biliyə çevrilməsini və əldə edilmiş yeni biliklər əsasında effektiv qərarların qəbulu üçün istifadə edilməsini təmin edir [1]. Rəqəmsal transformasiyanın baza texnologiyalarından biri olan rəqəmsal əkizlər (RƏ) təmsil etdikləri fiziki obyektin və ya prosesin rəqəmsal surəti kimi çıxış edir və məkandan asılı olmadan real vaxt rejimində onların monitorinqinə və vəziyyətin qiymətləndirilməsinə imkan verir [2].

Hazırkı məqalədə tibbi RƏ-nin mahiyyəti, arxitekturası və virtual obyektin yenilənməsini əyani təqdim etmək üçün Power BI platforması əsasında RƏ-nin yaradılması algoritmi təklif edilmişdir. Power BI məlumatların xarici mənbələrdən toplanmasına, təmizlənməsinə, data modellərin yaradılmasına, verilənlərin təhlil edilərək vizuallaşdırılmasına imkan verir. Vizuallaşdırma vasitələrindən biri olan Power BI digər alətlərə nisbətən daha rahat interfeysə malikdir. Power BI qurulmuş

idarə panelinin real fiziki obyektədən toplanan datalarla əlaqələndirərək rəqəmsal əkiz məlumatlarının intuitiv vizuallaşdırılmasına və davamlı yenilənməsinə imkan verir.

II. RƏQƏMSAL ƏKİZLƏR

1950-ci ildə NASA (National Aeronautics and Space Administration), GE (General Electric) və digər sənaye istehsalçıları imitasiya modelləşdirməsi vasitəsilə avadanlığın keyfiyyəti və həyat dövrü ərzində uçotunu aparmaq üçün onun abstrakt rəqəmsal modellərini yaratmışdılar [3].

2002-ci ildə RƏ “fiziki obyektin virtual, rəqəmsal ekvivalenti” kimi təqdim olunmuş [4], məhsulun həyat dövrünün idarə edilməsinin (Product Lifecycle Management, PLM) əsasında duran konseptual modeli təklif edilmişdir. Ancaq həmin dövrdə bu texnologiyayı ümumi istifadə üçün yararlı vəziyyətə gətirmək texnoloji baxımdan çox çətin və bahalı idi. On il sonra “böyük verilənlər” (Big Data, BD), “Əşyaların İnterneti” (Internet of Things, IoT) və “Tibbi əşyaların interneti” (Internet of Medical Things, IoMT) texnologiyalarının sürətli inkişafı bu ideyanı həyata keçirməyə şərait yaratdı. 2010-cu ildə NASA-nın əməkdaşı, baş rəhbər John Vickers “rəqəmsal əkiz” terminini elmə daxil etdi. 2014-cü ildə ekspert Michael Grieves tərəfindən “fiziki məhsulun virtual rəqəmsal ekvivalenti” konsepsiyası təklif edildi [5].

RƏ və onun real həyatdakı qarşılığı arasında fasiləsiz və etibarlı məlumat axını təmin edən əlaqənin olması zəruri şərtidir. Belə ki, RƏ onun fiziki analoqu dəyişdikcə yenilənir və dəyişir. O, fiziki obyektin cari vəziyyətini, yerini, funksiyasını, tərkibini və s. bilmək üçün IoT-dan istifadə edir. Daha sonra generasiya olunan pərakəndə verilənlər, real vaxtda virtual əkizə ötürülür və nəticədə situasiya dinamik olaraq əks etdirilir. RƏ maşın təlimi vasitəsilə bu verilənlərdən, dərin predmet bilikləri olan insan-ekspertlərdən, həmçinin oxşar əkizlərdən də öyrənə bilər [6].

[7]-də RƏ-nin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilmişdir:

1. Əlaqə (Connectivity) – RƏ və onun real həyatdakı qarşılığı arasında fasiləsiz və etibarlı məlumat axını təmin edən əlaqə tələb edilir.
2. Eyniləşmə (Homogeneity) – müxtəlif mənbələrdən daxil olan məlumatların homogenləşməsi həyata keçirilməlidir.
3. Yenidən proqramlaşdırıla bilən (Reprogrammable) –

mütəmadi toplanan məlumatların həcmi artdıqca RƏ də inkişaf edir və süni intellekt vasitəsilə daha ağıllı qərarların qəbulunu təmin edir.

4. Modulluq (Modularity) – RƏ istehsalçıya cihazın hansı xüsusi komponentlərinin aşağı performans göstərdiyini öyrənməyə imkan verə bilər.

III. TİBBİ RƏQƏMSAL ƏKİZLƏR

Səhiyyədə RƏ daha effektiv və çevik tibbi müdaxilələr həyata keçirmək, həkimlərə və tibbi personala xəstənin sağlamlıq vəziyyətini anlamağa kömək etmək üçün nəzərdə tutulub [8]. Sensor məlumatlarını, komputer modelləşdirməsini və süni intellekt alqoritmlərini özündə birləşdirən tibbi RƏ real obyektin rəqəmsal (virtual) güzgüsü kimi çıxış edir [9].

RƏ-nin tibdə tətbiqi üçün əsas şərtlərdən biri onun real fiziki obyektinin olmasıdır. Tibbi RƏ fiziki obyekt və ya tibbi sistem haqqında bütün məlumatları özündə ehtiva edən dinamik rəqəmsal modeldir.

Səhiyyənin tam RƏ yaradılması uzun zaman ala bilən və müəyyən səviyyələrlə həyata keçirilən bir prosesdir. Birinci səhiyyə səviyyəsinə tibbi fəaliyyət, əczaçılıq və tibbi təhsil daxildir. İkinci - predmet səviyyəsidir, ambulator müalicə, təcili yardım, stomatologiya, dərman istehsalı və dərman satışı kimi bölmələri özündə ehtiva edir. Üçüncü və dördüncü səviyyələr uyğun olaraq insanın ayrı-ayrı orqanları və bu orqanlarla bağlı xəstəliklər üzrə fərdiləşdirilmiş (fərdmərkəzli) RƏ-nin yaradılmasından ibarətdir [10, 11].

RƏ-nin faydaları səhiyyə sektorunda xəstəliklərin müalicəsində, sağlamlığın idarə edilməsində və fərdiləşdirmiş tibbin bir çox sahələrində tətbiq oluna bilər. RƏ eyni xəstəliyi olan müxtəlif xəstələr üçün fərqli müalicə variantlarını təmin edə və fərdiləşdirilmiş tibbin formalaşmasını sürətləndirə bilər. Fərdmərkəzli tibbin mahiyyəti konkret xəstənin tibbi verilənləri və genotipinə uyğun dərman terapiyasının fərdiləşdirilməsindən ibarətdir. RƏ-nin yaratdığı bu imkanlar

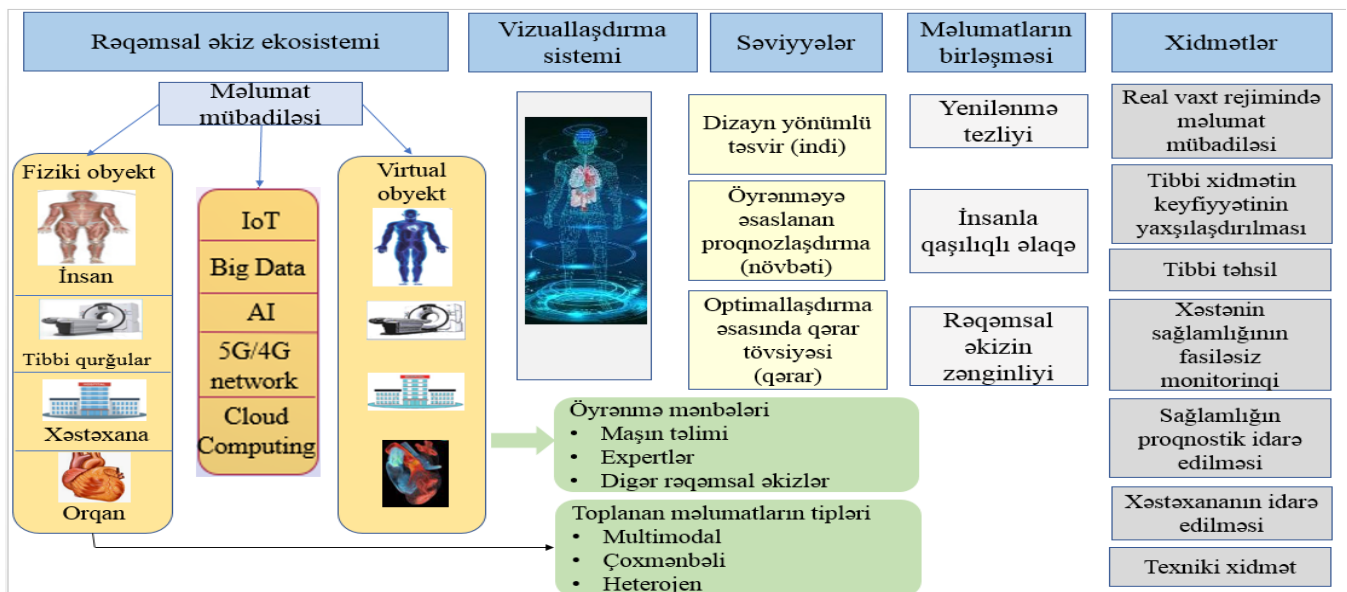
səhiyyənin əsas komponenti olan xəstələrə tibbi xidmətin göstərilməsi baxımından çox mühümdür. Xəstənin fiziki xüsusiyyətlərini və tibbi məlumatlarını rəqəmsal mühitə köçürməklə, RƏ dəqiq diaqnostika və müalicə prosesinin müəyyən edilməsində, həmçinin fərdi tibbin formalaşdırılmasında innovativ həllər təklif edir. İnsan bədəninin rəqəmsal əkizləri onun orqanlarının, hüceyrələrinin, fərdi genetik tərkibinin, hər bir şəxsin fizioloji xüsusiyyətlərinin və vərdislərinin (həyat tərzinin) modelləşdirməsi üçün qurulur və fərdi dərmanların, müalicə planlarının yaradılmasına imkan verir [12]. İnsan bədəninin daxili altsistemləri olan bu rəqəmsal pasiyentlər diaqnostikani fərdiləşdirməklə tibbi xidməti və pasiyentlərin müalicəsini yaxşılaşdırı bilər

Tibbi rəqəmsal əkizlər fərdiləşdirilmiş tibbin formalaşdırılması üçün aşağıdakı problemlərin həllində istifadə oluna bilər:

- xəstəliyin ilkin mərhələsində erkən diaqnozun qoyulması;
- xəstəliyin sonrakı inkişaf trayektoriyalarının izlənilməsi;
- tibbi yardımın vaxtının optimallaşdırılması;
- fərdiləşdirilmiş tibbin inkişafı;
- dərmanların pasiyentə təsir mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi və s.

Rəşad bu sadalananların həlli ilə yanaşı müvafiq nəticələri test etməyə və vizuallaşdırmağa, dinamik i dəyişənləri proqnozlaşdırmağa imkan verir [13].

Beləliklə, tibbi RƏ-nin ümumi arxitekturası fiziki və virtual obyektlər, onlar arasındakı əlaqəni təmin edən texnologiyalar, tibbi verilənlərin vahid bazası, mərkəzləşdirilmiş idarəetmə sistemi və vizuallaşdırma sistemlərindən ibarətdir (şəkil 1) [13].



Səkil 1. Tibbi rəqəmsal əkizlərin ümumiləşdirilmiş arxitekturası.

Tibbi rəqəmsal əkizin fiziki obyektləri dedikdə, xəstə, xəstəxana, həkim, tibbi qurğular, orqanlar və s. nəzərdə tutulur. Cədvəl 1-də səhiyyə sisteminin fiziki obyektlərinin RƏ-nin yaradılması üçün tələb olunan məlumat mənbələri və zəruri məlumatlar təqdim olunmuşdur.

CƏDVƏL 1. TİBBİ RƏ-NİN YARADILMASI ÜÇÜN ZƏRURİ OLAN MƏLUMAT MƏNBƏLƏRİ

No	RƏ ekosisteminin fiziki obyektləri	RƏ-nin yaradılması üçün zəruri olan məlumatlar
1	Xəstə	Genetik məlumatlar, laboratoriya nəticələri, tibbi təsvirlər, biotibbi siqnallar, fərdi məlumatlar, sosial göstəricilər
2	Xəstəxana	Tibbi resurslar (avadanlıq, dərman preparatları və s.), kadr resursları, xəstəxanadaxili əməliyyat məlumatları
3	Məlumat toplayan tibbi qurğular	Sensor məlumatları, keyfiyyət göstəriciləri, ətraf mühit məlumatları

Fərdmərkəzli tibbi RƏ-nin verilənlər bazasının formalaşdırılması üçün müvafiq fiziki obyektin bütün müayinə verilənləri ilə yanaşı, həm də IoT, IoMT vasitəsilə mütəmadi olaraq toplanan məlumatlar istifadə olunur [14-16]. Fiziki obyektlərdən toplanan məlumatlar böyük həcmli və müxtəlif xarakterli olmaqla yanaşı, həm də müxtəlif mənbələrdən əldə edirlər. Bu baxımdan məlumatları toplandığı mənbələrə görə aşağıdakı kimi təsnifləndirmək olar [17]:

- İot cihazları: qan təzyiqi, ürək döyüntüsü və digər biometrik parametrlər;
- Elektron Sağlamlıq Qeydləri (*ing. electronic health record (EHR)*): laboratoriya nəticələri, müalicə planları və xəstə tarixçəsi;
- Süni intellekt və analitik modellər: xəstənin sağlamlıq proqnozları və xəstəliklərin erkən aşkarlanması üçün məlumatlar və s.

Bu məlumatlar bulud sistemlərində saxlanılır.

Virtual obyekt – fiziki reallıqda mövcud olmayan, lakin rəqəmsal texnologiyalar vasitəsilə modelləşdirilərək kompüter mühitində vizuallaşdırılan, məntiqi struktura və funksional xüsusiyyətlərə malik süni obyektidir. Tətbiqlər obyektin fəaliyyətinə real vaxt rejimli nəzarət sistemi kimi istifadə olunur və bu sistem obyektin bütün həyat dövrü ərzində fəaliyyətdə olur.

Vizuallaşdırma sistemi – tibbin müxtəlif sahələrində verilənlərin idarə edilməsi modellərini, müxtəlif mənbələrdən alınmış informasiyanı və nəticələri əyani formada əks etdirir. Bu, tibbi fiziki obyektə baş verən proseslərin effektiv monitorinqinə, nəzarətinə və idarə edilməsinə imkan yaradır.

IV. MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU VƏ HƏLLİ

Power BI platforması əsasında tibbi RƏ-nin yaradılması aşağıdakı məsələlərin həllini tələb edir.

1. İnsan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində RƏ-nin qurulması;
2. Məlumatların vizuallaşdırılması əsasında tibbi rəqəmsal

əkizin yaradılması.

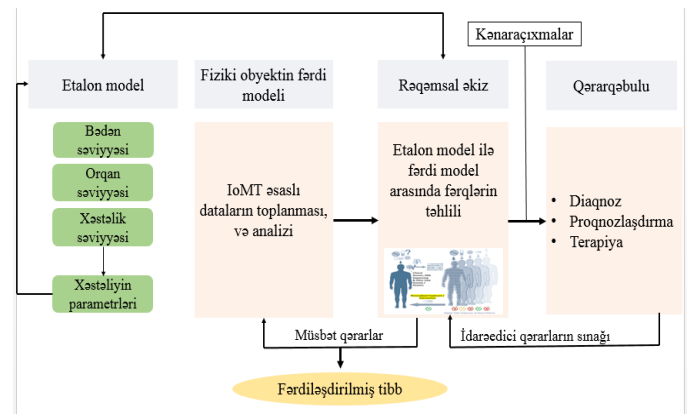
A. İnsan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində RƏ-nin qurulması.

RƏ-nin insan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində qurulması üçün pasiyentlərdən IoMT texnologiyaları vasitəsilə mütəmadi olaraq toplanan tibbi məlumatlardan istifadə olunur. Tərəfimizdən şəkil 2-də insan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində IoMT əsaslı RƏ-nin formalaşması və arxitektura-texnoloji prinsipləri sxematik təsvir olunmuşdur. Sxema müvafiq olaraq hər bir fizioloji səviyyə üzrə xəstəliyi xarakterizə edən zəruri tibbi göstəricilərin normativ qiymətləri əsasında fiziki tibbi obyektin etalon rəqəmsal modeli qurulur.

Fiziki obyektin fərdi modelinin qurulması üçün IoMT texnologiyaları vasitəsilə konkret pasiyentin xəstəliyini xarakterizə edən göstəricilərin real qiymətləri toplanır və analiz edilir. Bu proses dinamik olaraq fasiləsiz davam edir.

RƏ səviyyəsində qurulmuş etalon və fiziki obyektin real modeli arasındakı fərqlərin təhlili aparılır:

- a) bütün fizioloji səviyyələrə uyğun baxılan parametrlər üzrə kənarçıxmalar müəyyən edilir;
- b) mövcud situasiyanın intellektual analizi aparılır və müvafiq qərar qəbul edilir;
- c) əldə edilmiş müsbət qərarlar həmin pasiyentin müayinəsi, diaqnozu, xəstəliklərin proqnozlaşdırılması və IoMT-nin təyin edilməsi üçün istifadə edilir.



Şəkil 2. Tibbi göstəricilər əsasında RƏ-nin formalaşması və arxitektura-texnoloji prinsipləri.

B. Tibbi məlumatların vizuallaşdırılması əsasında tibbi rəqəmsal əkizin yaradılması:

Rəqəmsal əkizin vizuallaşdırılması virtual obyektin fiziki obyektə baş verən dəyişikliklər ilə eyni vaxtda yenilənməsi üçün davamlı olaraq toplanmış məlumatlar əsasında onun əyani təqdimatıdır [18].

Məqalədə real tibbi verilənlərin vizuallaşdırılması üçün Microsoft tərəfindən inkişaf etdirilən bulud əsaslı verilənlərin analitika platforması Power BI proqram təminatından istifadə edilmişdir. Tibbi rəqəmsal əkiz verilənlərinin Power BI vasitəsilə vizuallaşdırılması səhiyyə xidmətlərini

optimallaşdırmaq və real zamanda məlumatlara əsaslanaraq qərar vermə prosesini təkmilləşdirmək üçün əlverişli bir yanaşmadır [19].

Power BI əsasında tibbi verilənlərin vizuallaşdırılması ilə rəqəmsal əkinin yaradılması alqoritmi aşağıdakı mərhələlər üzrə yerinə yetirilir:

Birinci mərhələ: Bazanın seçilməsi. Bu məqsədlə məlumatlar Azure Data Lake, SQL Database, API-lər və ya Excel kimi mənbələrdən Power BI-ya qoşula bilər.

IoT-da toplanan məlumatlar real vaxt rejimində dəyişən və dinamik xarakter daşıyır [20]. Lakin hazırda bu verilənlərə əlçatanlıq məhdud olduğundan təhlil üçün tərəfimizdən real verilənlər istifadə edilmişdir. Real verilənlər adətən sabit və diskret xarakterə malik olub, müəyyən zaman intervallarında

qeydə alınan məlumatları əks etdirir. Odur ki, real informasiya mənbəyi kimi ənənəvi kliniki praktikada həkimlərin xəstə ilə bağlı dövrü olaraq topladıqları mövcud milli bazaya istinad edilmişdir. Real baza qismində Azərbaycan Tibb Universitetinin Cərrahi xəstəliklər klinikasının həkimləri tərəfindən sirroz xəstələrinin Excel proqramında yaradılmış bazasından istifadə edilmişdir (şəkil 3).

İkinci mərhələ: Excel faylında toplanmış verilənlərin Power BI vizualizasiya proqramına yüklənməsi.

Üçüncü mərhələ: Məlumatların transformasiyası aparılır. Power BI-da məlumatların transformasiyası Power Query vasitəsilə yerinə yetirilir. Power Query – Microsoft tərəfindən hazırlanmış və əsasən Excel və Power BI daxilində istifadə olunan məlumatların gətirilməsi (import), təmizlənməsi, çevrilməsi və modelləşdirilməsi üçün istifadə edilən vizual sorğu redaktoru və məlumat çevirmə vasitəsidir. Bu mərhələdə aşağıdakı əsas məsələlər icra olunur:

- Tibbi göstəricilərdə boş xanalar aşkar edilərsə, bunlar ya silinir ya da uyğun şəkildə doldurulur;
- Outlier-lərin aşkarlanması, yəni anormal dəyərlərin aşdırılması. Outlier – verilmiş verilənlər toplusunda

digər dəyərlərdən statistik baxımdan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən və çox vaxt məlumatın ümumi tendensiyasını pozan və ya statistik modellərin nəticələrinə təsir göstərən dəyərdir.

- Generasiya olunan strukturlaşdırılmamış pərakəndə məlumatlar strukturlaşdırılır və s.

Fiziki obyektədən gələn məlumatların strukturlaşdırılması aşağıdakı imkanları yaradır:

- Xəstə məlumatlarını daha dəqiq təhlil etmək;
- Riskli vəziyyətləri öncədən aşkar etmək;
- Real vaxt göstəriciləri əsasında qərar qəbul etmək.

Sadələndirilmiş transformasiya mərhələlərinin reallaşdırılması nəticəsində xəstənin vəziyyətini xarakterizə edən hər bir tibbi parametrlər üzrə vizual təsvirlər yaratmaq mümkündür.

Dördüncü mərhələ: rəqəmsal əkin idarəetmə panelinin yaradılması. Məlumatların vizuallaşdırılması səhiyyə mütəxəssislərinə real vaxtda xəstənin vəziyyətinə nəzarət və çevik qərarlar qəbul etmək imkanı yaradır. Power BI-da **idarə panelləri** detallı təhlil və məqsədlə monitorinqi təmin edir.

Şəkil 4-də sirroz xəstələrinin dinamik dəyişən müayinə verilənləri əsasında qurulmuş rəqəmsal əkin:

a) Sirrozun növləri (HCV sirroz, HBV sirroz, ALK sirroz, sirroz) üzrə;

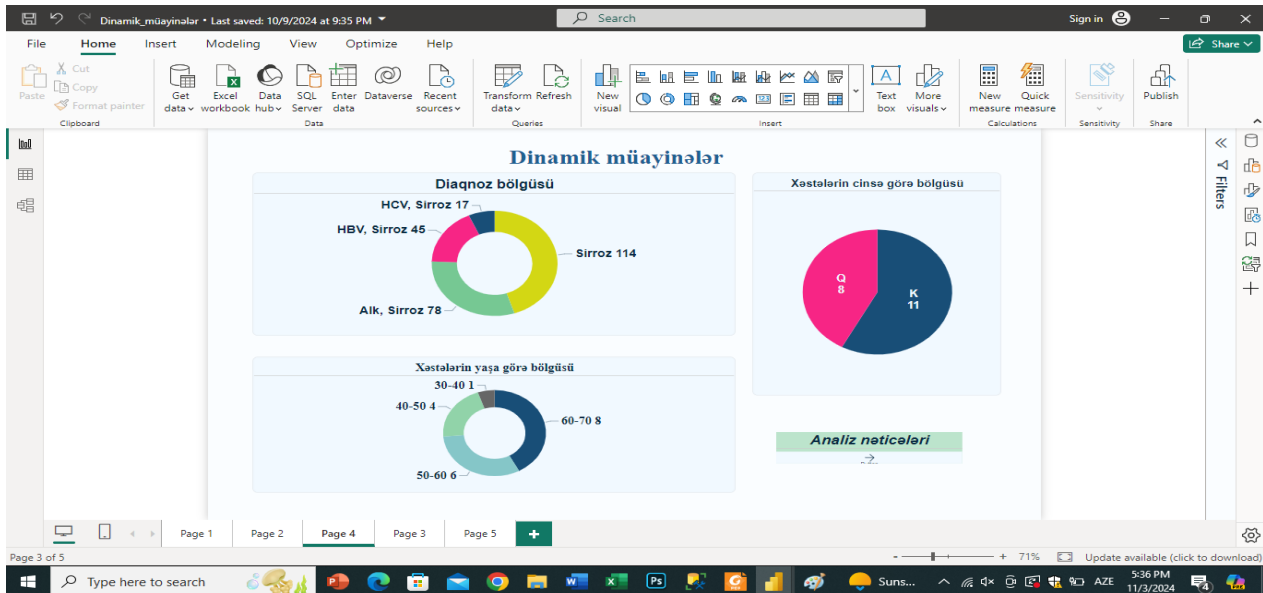
b) xəstələrin demografik paylanması (yaş, cins) üzrə idarəetmə paneli göstərilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi xəstələrdən 11 nəfəri kişi, 8 nəfəri qadın olmaqla, 1 nəfər 30-40 yaş, 4 nəfər 40-50 yaş, 6 nəfər 50-60 yaş və 8 nəfər 60-70 yaş qrupları üzrə paylanmışdır.

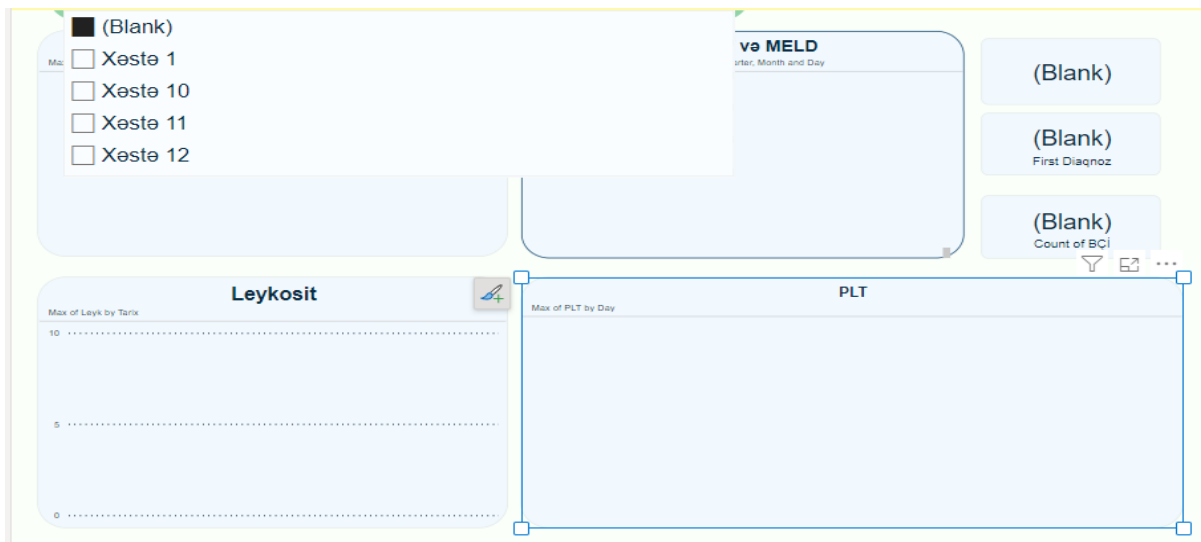
“Analiz nəticələri” düyməsinə vurduğumuz zaman şəkil 5-də təsvir olunan pəncərə açılır.

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Ad Soyad	Diagnoz tarixi	Diagnoz	Təvəllüd	BÇİ	MELD	HB	Leyk	PLT	Neytrof	Limfosit	ECS
Xəstə 5	6/23/2023	Sirroz	1960		8	13.1	5.27	58	3.58	0.98	15
Xəstə 5	11/15/2023	Sirroz	1960		10	13	5.02	87	3.43	0.96	20
Xəstə 6	10/12/2019	HBV, Sirroz				13.4	8.44	221	5.02	2.51	15
Xəstə 6	11/4/2022	HBV, Sirroz				13.3	7.44	184	4.64	1.97	25
Xəstə 6	4/5/2023	HBV, Sirroz			9	13.5	7.53	122	4.94	1.81	30
Xəstə 6	4/27/2023	HBV, Sirroz			12	13.4	6.64	124	4.46	1.46	35
Xəstə 6	7/24/2023	HBV, Sirroz			12	12.9	6.72	145	4.15	1.79	40
Xəstə 6	11/1/2023	HBV, Sirroz			8	12	5.96	146	3.87	1.56	35
Xəstə 7	5/10/2023	Alk, Sirroz	1971		12	11.4	4.25	50	2.61	0.93	15
Xəstə 7	6/12/2023	Alk, Sirroz	1971		12	11	3.65	46	2.28	0.79	22

Şəkil 3. Azərbaycan Tibb Universitetinin Cərrahi xəstəliklər klinikasının həkimləri tərəfindən sirroz xəstəlikləri ilə bağlı yaradılmış verilənlər bazasından fraqment.



Şəkil 4. Rəqəmsal əkiliz idarəetmə paneli:
a) Sirrozun növləri (HCV sirroz, HBV sirroz, ALK sirroz, sirroz) üzrə;
b) xəstələrin demoqrafik paylanması (yaş, cins) üzrə

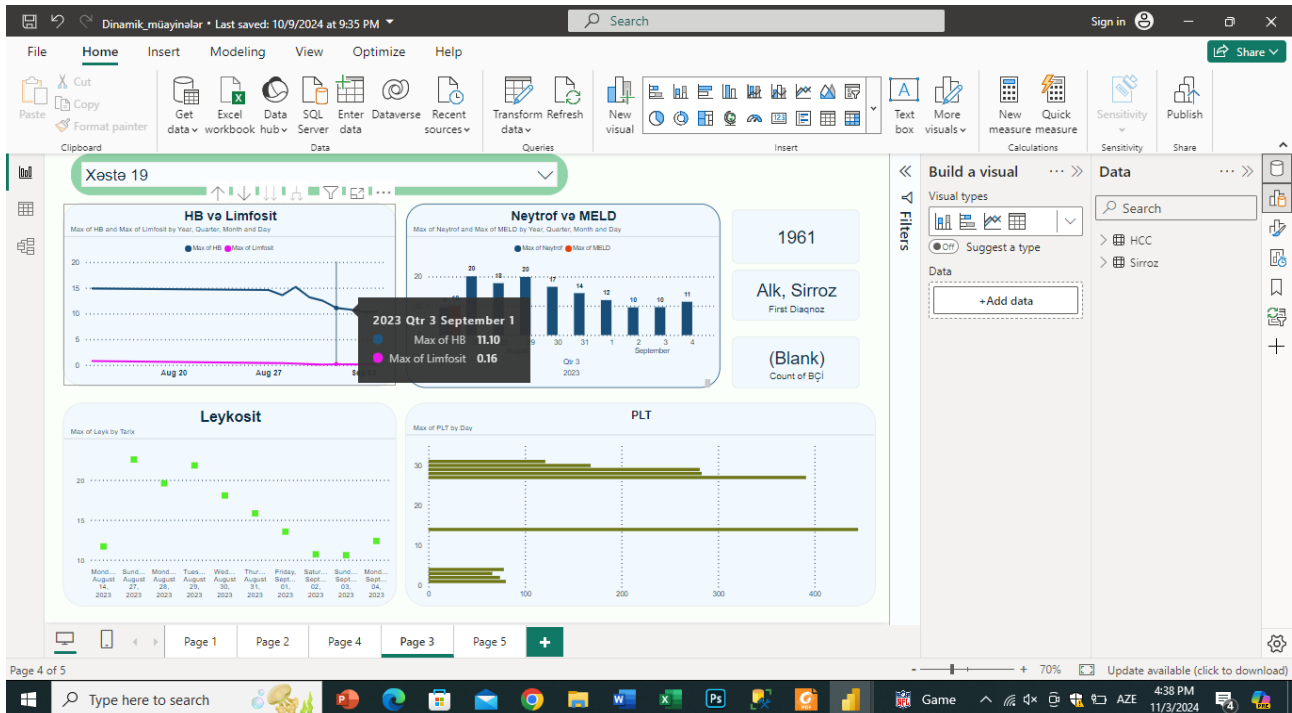


Şəkil 5. “Analiz nəticələri” ilə bağlı giriş pəncərəsi.

Giriş pəncərəsində hər hansı bir xəstənin fərdi analiz nəticələrinə baxmaq üçün siyahıdan həmin xəstənin adı seçilir. Şəkil 6-da təsvir olunmuş pəncərədə konkret seçilmiş xəstə üçün *Gauge chart*, *line chart* və *slicer* kimi vizual alətlər vasitəsilə həmin xəstənin doğum ilini, xəstəliyin növünü və laboratoriya analiz nəticələrinin zamandan asılı olaraq necə dəyişdiyini görmək mümkündür. Həmin qrafiklərdə istənilən nöqtəyə yaxınlaşmaqla analizin verilmə tarixini və nəticəsini görmək mümkündür.

Power BI-da hazırlanan idarə panelləri vasitəsilə fiziki obyektədən alınan məlumatların real vaxt rejimində vizuallaşdırılması aşağıdakı imkanlar yaradır:

- İdarə paneli xəstənin hər bir tibbi parametri üzrə formalaşmış zaman sıralarının dinamikasını əks etdirir;
- Xəstəliklərin erkən proqnozlaşdırılması və müalicə proseslərinin optimallaşdırılması təmin edilir;
- Hər bir xəstə ilə bağlı fərdiləşdirilmiş göstəricilərin vizual görüntüsünü yaratmaqla həkimlər üçün qərar qəbul prosesini sürətləndirir.



Şəkil 6. Sirroz xəstəsinin rəqəmsal əkizinin vizual görüntüsü.

Belə bir “rəqəmsal əkiz” pasiyent haqqında məlumatları özündə ehtiva edir, xəstəliyin inkişafı tendensiyalarını göstərir və hər bir tibbi müayinədən sonra verilənləri yeniləməklə xəstənin sağlamlıq vəziyyətinin trayektoriyasını formalaşdırır.

Təklif etdiyimiz alqoritm əsasında analoji qaydada digər xəstəliklər ilə bağlı müayinə verilənlərinin vizuallaşdırılması ilə rəqəmsal əkizin yaradılması mümkündür.

Beləliklə, fərdi tibbi məlumatların Power BI vasitəsilə vizuallaşdırılması real zamanda yaradılan idarə panelləri vasitəsilə xəstələrin vəziyyətini davamlı olaraq izləmək və vaxtında tibbi müdaxilələr həyata keçirməyə imkan verir.

NƏTİCƏ

Tibbi rəqəmsal əkizlərdən istifadə səhiyyə sektorunda fərdi müalicə proqramlarının təkmilləşdirilməsi üçün böyük potensiala malikdir. Baxılan məqalədə pasiyentlərdən toplanan məlumatlar əsasında fiziki obyektin virtual obyektə transformasiyası – RƏ-nin yaradılması arxitekturası verilmişdir. İnsan bədəninin orqan və müvafiq xəstəliklər səviyyəsində RƏ-nin arxitektur-texnoloji prinsipləri və virtual obyektin formalaşması mərhələləri və sxematik təsviri təklif edilmişdir. RƏ-nin yaradılmasında real zaman məlumatları qismində xəstələrin kliniki praktikada mütəmadi olaraq həkim nəzarəti əsasında toplanmış məlumatlara istinad edilmiş və Power BI platformasında vizuallaşma sisteminin qurulması alqoritmı verilmişdir. Power BI vizuallaşma aləti müxtəlif zaman anlarında qeydə alınmış parametrlərə görə həmin parametrin dəyişmə trayektoriyasını əyani təsvir edir, xəstənin həyati vacib tibbi göstəricilərinə zaman və məkan

komponentləri ilə birgə kontekstdə baxmağa şərait yaradır, bu da mövcud vəziyyətin kritikliyinin qiymətləndirilməsində həkimlərə dəstək göstərir. Gələcək tədqiqatlarda xəstənin IoMT əsaslı kliniki göstəricilərinə görə onun sağlamlığının proqnozunu verilməsi ilə bağlı tədqiqatların aparılması nəzərdə tutulur.

İSTİNADLAR

- [1] F. Zaoui and N. Souissi, “Roadmap for digital transformation: A literature review,” *Procedia Computer Science*, vol. 175, pp. 621-628, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.090>.
- [2] K. Zhang, H. Zhou, T. Daniel and Baptista-Hon, etc. “Concepts and applications of digital twins in healthcare and medicine,” *Patterns*, vol. 5, Issue 8, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2024.101028>.
- [3] K. Y. Lim, P. Zheng and C. H. Chen, “A state-of-the-art survey of digital twin: Techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol.31, pp.1313–1337. 2020 DOI: 10.1007/s10845-019-01512-w.
- [4] M. Grieves and J. Vickers, “Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems”, In: Kahlen F.J., Flumerfelt S., Alves A. (eds) *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, pp.85–113, 2017.
- [5] J. Zhou, S. Zhang and M. Gu, “Revisiting digital twins: Origins, fundamentals, and practices.”, *Front. Eng. Manag.* vol.9, pp.668–676 2022, <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0216-2>
- [6] M. Pantelidakis, K. Mykoniatis, J. Liu and G. Harris, “A digital twin ecosystem for additive manufacturing using a real-time development platform”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.120, pp. 6547-6563, 13 April 2022, <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09164-6>
- [7] E. VanDerHorn and S. Mahadevan, “Digital Twin: Generalization, characterization and implementation”, *Decision Support Systems*, vol. 145, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113524>.

- [8] G. Coorey, G. Figtree and D. Fletcher et al. “The health digital twin to tackle cardiovascular disease—a review of an emerging interdisciplinary field”, npj Digit. Med. vol.5, p.126, 2022, <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00640-7>.
- [9] L. El-Warrak and CM. de Farias, “The State of the Art of Digital Twins in Health—A Quick Review of the Literature.” Computers, vol. 13, p.228, 2024, <https://doi.org/10.3390/computers13090228>
- [10] M. Mammadova and A. Ahmadova, “Development of digital twin ecosystem and ontology in medicine.” Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions pp. 21–23, 29 November 2023, <https://doi.org/10.21303/2585-6847.2023.003203>
- [11] A. Ahmadova, “Applications of digital twins in medicine and the ontological model of medical digital twins”, Problems of Information Society, vol.15, pp.98-105, 2024, <http://doi.org/10.25045/jpis.v15.i1.10>.
- [12] T. Sun, X. He and Z. Li, “Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges.”, Digit Health, vol. 9: pp.1–13, January 3 2023, doi: 10.1177/20552076221149651.
- [13] R. Liyanage, N. Tripathi, N. Paivarinta and Y. Xu, “Digital Twin Ecosystems: Potential Stakeholders and Their Requirements.”, Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 463, pp. 19-34, 29 October 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-031-20706-8_2
- [14] M. Mammadova and Z. Jabrayilova, “Synthesis of decision making in a distributed intelligent personnel health management system on offshore oil platform.” EUREKA: Physics and Engineering, vol. 4, pp. 179–192, 2022, <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002520>.
- [15] M. Mammadova and Z. Jabrayilova, “Decision Making in a Distributed Intelligent Personnel Health Management System on Offshore Oil Platform.” Studies in Fuzziness and Soft Computing 423 vol.2, pp.145–153, 27 June 2023, https://doi.org/10.1007/978-3-031-23476-7_14
- [16] M. Mammadova , Z. Jabrayilova , A. Ahmadova, “Chapter4 Methodological approaches to the intelligent human factor management on an offshore oil and gas platforms”, Tallinn : Scientific Route, pp.30, 2023, <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch4>
- [17] B. Björnsson, C. Borrebaeck and N. Elander et al. “Digital twins to personalize medicine.” Genome Med, vol.12, 31 December 2020, <https://doi.org/10.1186/s13073-019-0701-3>
- [18] Y. Fan, J. Yang, J. Chen and B. Zhou, “A digital-twin visualized architecture for Flexible Manufacturing System” Journal of Manufacturing Systems, vol.60, pp. 176-201, July 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.010>Get rights and content.
- [19] S. M. Zulkafli, M. M. Ariffin and A. Zakariya, "Data Analytics and Visualization of Remote Healthcare Monitoring System," 2022 6th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation ICCUBEA, Pune, India, pp. 1-6, 2022, doi: 10.1109/ICCUBEA54992.2022.10010938.
- [20] L. Shen, Y. Jiang, T. Zhang et al., "Machine learning for dynamic prognostication of patients with hepatocellular carcinoma using time-series data: Survival Path versus Dynamic-DeepHit HCC model," Cancer Informatics, vol. 23, 2024. doi: 10.1177/11769351241289719.

İnternet Asılılığı Problemləri və Həlli Yolları

Sabirə Ocaqverdiyeva

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
allahverdiyevsabira@gmail.com

Xülasə—İnternetə olan maraq və güvən şəbəkə istifadəçilərinin sayının artmasına təsir göstərir. Bəzi insanlar virtual realıq və onlayn mühiti gündəlik həyatın stresindən, problemlərindən və çətinliklərindən müvəqqəti uzaqlaşmaq üçün bir vasitə kimi qəbul edirlər. Lakin, bu tendensiya İnternet Asılılığı (İA) kimi psixoloji və sosial rifaha mənfi təsir göstərən bir problemi də aktuallaşdırır. Məqalədə İA-nın əsas simptomlarını, müxtəlif formalarını təhlil edərək, onun psixi sağlamlıq və sosial rifaha zərərli təsiri araşdırılır. Bununla yanaşı, problemin həllində tətbiq olunan beynəlxalq müalicə və reabilitasiya yanaşmaları nəzərdən keçirilir. İA-nın ictimai sağlamlıq prioritetləri sırasına daxil edilməsi, onun ağırlaşmalarının qarşısının alınması və effektiv müdaxilə strategiyalarının işlənilib hazırlanması üçün təkliflər verilir.

Açar sözlər— İnternet asılılığı; İnternet Asılılıq simptomları; psixi sağlamlıq; ekran vaxtı.

I. GİRİŞ

Rəqəmsal dövrdə İnternet insanlar arasında ünsiyyət, iş, bilik əldə etmək, oyun tərzini dəyişdirmək kimi fərqliliklər yaratmağa nail oldu. Onlayn alış-veriş, distant təhsil, anı mesajlaşma və s. xidmətlər rəqəmsal texnologiyaların verdiyi rahatlıqlardır. Bu texnoloji inteqrasiyanın üstünlükləri danılmaz olsa da, İnternetə həddən artıq güvənmək, vaxt keçirmək yeni psixoloji və davranış problemlərini yaratmışdır, bu problemlərdən xüsusilə ən aktual olanı İnternet asılılıq şəklində təzahür edir.

“İnternet asılılığı” konsepsiyası ilk dəfə 1995-ci ildə Nyu-York psixiatri İvan Qoldberq tərəfindən təqdim edilmişdir [1, 2]. Bu termin elmi ədəbiyyatda “həddindən artıq İnternet istifadəsi”, “patoloji İnternet istifadəsi”, “İnternetdən istifadə pozğunluğu” və “problemlə İnternet istifadəsi” kimi də işlədilir [3-5].

İnternet asılılığı getdikcə daha çox ictimai sağlamlıq problemi kimi tanınır, onlayn vaxtın məhdudlaşdırma bilməməsi ilə xarakterizə olunan nəzarət pozuqluğu olaraq müəyyən edilir [1, 2]. Tədqiqatçılar bunu davranış problemləri ilə müşayiət olunan, İnternetə daimi giriş ehtiyacı və sistemdən çıxmaqda çətinlik çəkmək kimi təzahür edən psixi pozğunluq olaraq təsnif edir [1, 2].

İnternetdən həddindən artıq istifadə yuxu pozğunluğu, sosial təcrid, narahatlıq, depressiya və fiziki fəaliyyətin azalması və s. mənfi təsirlərlə əlaqələndirilmişdir. Nəticədə, mütəxəssislər İA-nı sadəcə bir vərdiş kimi deyil, həm də narkotik asılılığı və qumar oyunları asılılığı ilə paralel olan davranış pozğunluğu kimi öyrənməyə başlamışdır [6].

Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) məlumatına görə, oyun asılılığına çevrilmiş kompüter oyunlarına olan hədsiz

həvəs xəstəlik statusu alıb və ICD-11 xəstəlik təsnifatına (Xəstəliklərin Beynəlxalq Təsnifatı, 11-ci revizion) asılılıq yaradan davranış pozuntusu kimi daxil edilib [6].

Son dövrlərdə Instagram, TikTok, Whatchap kimi virtual layihələrin fəaliyyəti ilə əlaqədar, insanların İnternetdə daha çox vaxt keçirdiyi müşahidə edilir [2]. COVID-19 pandemiyası dövründə insanların evdən çıxmasına qadağaların qoyulması və bir sıra məhdudiyyətlərin tətbiqi ilə əlaqədar smartfon və kompüterlərdən istifadə insanların informasiya ehtiyaclarını təmin edən vasitəyə çevrilmişdi [7].

2024-cü ilin statistikasına əsasən dünyada təxminən 4,8 milyard insan sosial medyadan istifadə edir. Onlardan 210 milyonu sosial media asılılığından əziyyət çəkdiyi təxmin edilir (4-5%). İstifadəçilərin 40%-i profillərinə daxil olmaq imkanı olmadıqda özlərini narahat hiss etdiklərini şərh edirlər [8]. Bu faktlar İA probleminin nə dərəcədə ciddi olduğunu önə çıxarır və vacibliyini vurğulayır.

Məqalədə qeyd edilənləri nəzərə alaraq İA-nın simptomları, yaranma səbəbləri və beynəlxalq müalicə və reabilitasiya modelləri haqqında məlumat verilir. İA-nın təsiri ilə yaranan mümkün problemlərin qarşısının alınmasında tövsiyələr verilir.

II. İNTERNET ASILILIĞI SİMPOMLARI

İstifadəçilərin qlobal şəbəkədə uzun müddət vaxt keçirməsi İnternet asılılığının qurbanına çevrilməsinə faktına aid edilmir, çünki istifadəçinin İnternetdən asılı olub olmaması müxtəlif əlamətlər əsasında müəyyənləşdirilir. Bu simptomlar İnternetdən istifadə ilə əlaqəli olub, problemlə münasibətləri göstərən müxtəlif davranış formaları və təzahürlərdir [1, 2]. Aşağıda İA simptomları verilir [1, 9]:

Psixoloji simptomlar

İA-nın psixoloji simptomları hər bir insanın psixi və emosional rifahına əhəmiyyətli müxtəlif dərəcədə təsir göstərir. Aşağıda bu simptomlar haqqında məlumat verilir:

Obsesif onlayn olmaq arzusu. İnternetə daxil olmaq üçün obsesif istək bir sıra psixoloji və davranış əlamətləri vasitəsilə bir simptom kimi özünü göstərir. İstifadəçilər həmişə İnternetdə olmaq, ünsiyyət yaratmaq həvəsində olur, ehtiyacı olmasa belə sosial şəbəkələri, e-poçtu, xəbər lentlərini və ya digər onlayn resursları yoxlamaqda çox maraqlı olurlar. Daim İnternetdə baş verənləri düşünür və əlaqə qura bilmədikdə narahatlıq keçirirlər.

Çıxarma simptomları. İnternetə çıxış olmadıqda və ya müəyyən məhdudiyyətlər tətbiq olunduqda İA qurbanları

özlərini pis hiss edir, mənfi emosiyalar yaşayır, əsəbilik və ya narahatlıq kimi əlamətlərlə qarşılaşırlar. Onlar özlərini dünya ilə heç bir əlaqəsi olmayan bir vəziyyətdə hiss edirlər, onlayn fəaliyyətin olmaması çox vaxt boşluq və ya itki hissi ilə nəticələnir, emosional sıxıntı yaradır.

Eyforiya. İnsanlarda asılılıq yaradan digər (məs., azartlı oyunlar, mərc oyunları, interaktiv söhbətlər və s.) onlayn fəaliyyətlər insanda qazanmaq, mükafatlanmaq hisslərini gücləndirir, dopamin ifrazını artırır. Bu maddələr isə istifadəçidə eyforik əhval-ruhiyyə yaradır və nəticədə belə istifadəçilər onlayn olduqları zaman yüksək eyforiya, həzz hissi keçirir və olduqları vəziyyətdən zövq alırlar.

Zamana nəzarətin itirilməsi. İA olan istifadəçilər fərdi fəaliyyətləri və ya iş məqsədilə müxtəlif rəqəmsal cihazlar vasitəsilə Internetin resurslarından istifadə edirlər. Onlar onlayn mühitə o qədər aludə olur ki, Internetdə vaxtın necə keçdiyini hiss etmir və ya nəzarət edə bilmirlər. Belə istifadəçilər çox vaxt nəzərdə tutulan müddətdən artıq Internetdə vaxt keçirirlər.

Məsuliyyətlərə etinasızlıq. Internetdə vaxt keçirməyi özləri üçün prioritet hesab edir, iş, təhsil, ev işləri kimi digər məşğuliyyətləri təxirə salırlar. Bu istifadəçilər daha vacib olan, həyatı məsələlərə diqqət yetirməkdə çətinlik çəkir. Lakin onlar sosial şəbəkələr, musiqi, şəbəkə oyunları, məlumat axtarışı və ya sadəcə Internetdə gəzmək kimi onlayn fəaliyyətlərə üstünlük verir, beləliklə özlərini daha mürəkkəb, ağıl və zəhmət tələb edən işlərdən yayındırırlar.

Günah və utanc hissi. Internetdən istifadənin çox olması haqqında məlumatlı və problemin ciddiliyindən xəbərdar olmaqla, onlayn mühitin təsirindən ayrılmaqda və davranışı idarə etməkdə çətinliyin olması ilə izlənen haldır. Nəticə onlar özlərini günahkar hiss edir və utanc hissi yaşayır, Internet hesabatları haqqında yaxınlarına, ailəsinə yalan danışirlar. Virtual ünsiyyətə daim üstünlük verməklə özlərini cəmiyyətdən sosial təcrid edir, real həyatdan uzaqlaşır, Internetdə olmayanda depressiyaya düşürlər.

İA-nın psixoloji simptomların tez-tez fiziki simptomları ilə birlikdə baş verdiyini və ümumi rifahın və gündəlik fəaliyyətin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olduğunu qəbul etmək vacibdir.

Fiziki simptomlar

Internet asılılığının fiziki simptomları uzun ekran vaxtı, oturaq davranış və şəxsi qayğıya etinasızlıq səbəbindən bir sıra problemləri əhatə edə bilər. Aşağıda onlardan bəzi haqqında məlumat verilir.

Yuxu pozğunluğu. Yuxu insanların həyat tərzinə və sağlamlığına təsir edən əsas amillərdən biri kimi, fizioloji, psixoloji və sosial ölçüləri olan bir anlayışdır. Yatmadan əvvəl telefon, kompüter, smartfon və s. rəqəmsal cihazlardan istifadə etmək, ekran qarşısında vaxt keçirmək insanın yuxuya getməsində çətinlik yaradır və nəticədə insanın yuxunun pozulması ilə nəticələnir [9].

Gözlərdə Quruluq və ya digər göz problemləri. Uzun müddət ekran vaxtı göz yorğunluğuna, quruluğa və narahatlığa gətirib çıxarır, adətən bu rəqəmsal göz yorğunluğu və ya kompüter

görmə sindromu kimi adlandırılır. Simptomlara bulanıq görmə, baş ağrıları və diqqəti toplamaqda yaranan çətinliklər aid edilir [10].

Bel, Boyun və baş Ağrısı. Daim kompüter qarşısında olmaq və ya əldə telefon tutmaq düzgün olmayan duruş bel və boyun ağrılarına səbəb olur. Həddindən artıq Internet istifadəsindən yaranan gərginlik və stress baş ağrılarına səbəb ola bilər [11, 12].

Karpal Tunel Sindromu. Uzun müddət kompüter və mausla işləmək əzələlərin yorğunluğuna səbəb olur, əllərdə ağrı və uyuşma ilə müşahidə edilir [12].

İştahda dəyişikliyin olması. İA insanların normal həyat tərzinə ciddi təsir göstərir, onların Internetdən istifadə vərdislərindən asılı olaraq iştahın azalmasına və ya artmasına, yemək rejiminin pozulmasına gətirib çıxarır. Bu insanlar onlayn mühitə o qədər dalır ki, qidalanma rejimini unudur, kalorisi yüksək, lakin qida dəyəri aşağı olan, tez hazırlanan qəlyanaltılar seçirlər. Onlardan bəziləri çəki itirir, digərləri isə əksinə kökəliirlər.

Fiziki simptomlar tez-tez narahatlıq, depressiya, sosial təcrid və akademik və ya iş performansının azalması kimi İA ilə əlaqəli psixoloji və sosial məsələlərlə birlikdə yaranır.

III. İNTERNET ASILILIĞIN NÖVLƏRİ

İA bir sıra səbəblərdən yaranır və müxtəlif formalarda özünü göstərə bilər. Xüsusi Internet fəaliyyətləri ilə həddindən artıq və qeyri-sağlam məşğulluq ilə xarakterizə olunan onlayn davranışın fərqli formalarına aid edilir. Bu asılılıqlar, fərdlərin xüsusi onlayn davranışlarından asılı olaraq müxtəlif yollarla özünü göstərir.

Sosial Media Asılılığı: Sosial media platformaları getdikcə daha çox asılılıq yaradır, istifadəçilər tez-tez saatlarla onlayn kontentdə gəzişir, bəyənmələr edir və rəy bildirir, tendensiya və hadisələr haqqında yeniləmələrə daim ehtiyac hiss edirlər. Bu platformaların məlumat toplamaq, özünü təqdim etmək, diqqət cəlb etmək kimi xüsusiyyətləri istifadəçilərin əyləncə, məlumat, söhbət, paylaşım üçün sosial mediadan asılılığının nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına təsir göstərir. Burada istifadəçilərin virtual qarşılıqlı əlaqələrinin real həyatda olduğundan daha artıq prioritetləşdirdiyi mühit psixi sağlamlıq, məhsuldarlıq və sosial münasibətlərə mənfi təsir edir [11].

Kompüter və oyun asılılığı. Oyun asılılığı - video oyunlara və kompüter oyunlarına obsesif həvəslə xarakterizə olunan psixoloji asılılığın bir formasıdır. İstifadəçilərin bir çoxu, xüsusən də yeniyetmələr və gənclər onlayn mühitdə çox vaxt keçirir, şəbəkə oyunları oynayırlar [1]. Bununla da real həyat məsuliyyətlərindən, stressdən uzaqlaşmağa, sosial izolyasiyaya və yuxu rejiminin pozulmasına səbəb ola bilər.

Kompulsiv məlumat axtarışı. Internet asılılığının bir növü kimi, istifadəçilərin lazım olan və ya olmayan onlayn məzmunun axtarışı, paylanması və s. üçün idarə edilməyən bir həvəsi özündə ehtiva edir [9]. Bu isə istifadəçilərin davranışlarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir daim məlumat toplamayı, Internetdə həddindən artıq vaxt keçirməli olurlar.

Kiber (onlayn) əlaqə asılılığı. Onlayn münasibətlərin (sosial şəbəkələr, söhbət otaqları və mesajlaşma və s.) qurulması və saxlanması ilə həddindən artıq məşğul olmaq ilə xarakterizə olunan İA bir növü olmaqla onlayn münasibətlərdə nəzarətsiz əlaqəni əhatə edir. Digər bir əsas xüsusiyyətlər onlarda yaranmış kompulsiv ehtiyacdən irəli gəlir ki, belə istifadəçilərdə onlayn əlaqələr axtarmaq və məşğul olmaq üçün güclü bir istək hissi olur.

Kiberseks asılılığı. Cinsi davranışlar, fantaziya, düşüncələr üçün İnternet və ya sosial mediadan istifadədir, çox vaxt gündəlik həyatı, münasibətləri və məsuliyyətləri pozur. Onlayn cinsi fəaliyyətlərlə məşğul olmaq üçün idarəolunmaz bir istək kimi özünü göstərir [9]. Bu davranış şəxsi və ictimai həyatı pozur, əhəmiyyətli narahatlıq və gündəlik fəaliyyətin pozulmasına səbəb olur. Ümumi davranışlar arasında pornoqrafiyaya tez-tez baxmaq, cinsi söhbət otaqlarında olmaq və virtual cinsi əlaqənin müxtəlif formalarında iştirak etmək daxildir.

Uşaqların smartfonların, planşet və digər rəqəmsal cihazlardan geniş şəkildə istifadəsi onların İnternetə çıxışını asanlaşdırır. Digər tərəfdən, onların yaşının az olması, beynin inkişafda olması, xüsusən də impulslara nəzarət və qərar qəbul etmə prosesinə nəzarət edən prefrontal korteks hələ də inkişaf edir. Bu isə, onları onlayn fəaliyyətlərin mükafatlandırıcı təbiətinə daha həssas edir. Onların beyinlərindəki dopamin mükafat sistemi ekran tərəfindən verilən stimullara çox həssasdır. Uşaq və yeniyetmələr üzərində nəzarətin olmaması, vaxtı ilə əlaqədar məhdudiyyətlərin olması onların şəbəkədə aktivliyinə təsir edir. Burada uşaqların yaşadığı mühitdən asılı olaraq emosional problemlərdən (cansızlıqdan, narahatlıqdan, depressiya stressdən və s.) xilas olmaq üçün global şəbəkəyə müraciət edirlər.

IV. İNTERNET ASILILIQLA MÜBARİZƏDƏ BEYNƏLXALQ MÜALİCƏ VƏ REABİLİTASIYA MODELƏRİ

İA haqqında məlumatlılığın çoxalması psixi sağlamlıq və davranış pozğunluqları ilə bağlı müxtəlif müalicə və reabilitasiya modellərinin yaranmasına təkan verir. Bu müdaxilələr davranış terapiyasına əsaslanan kliniki müalicə ilə yanaşı daha kompleks yanaşma tələb edən vahid, icma əsaslı reabilitasiya proqramlarını əhatə edir.

Kognitiv-Davranış Terapiyası (KDT).

İA-nın müalicəsində daha geniş istifadə olunan üsuldur. KDT fərdlərdə uyğun olmayan müxtəlif fikirləri düzgün tanımağa, əvvəlki normal düşüncələrini bərpa etməyə və yenidən qurmağa, daha sağlam mübarizə strategiyalarını inkişaf etdirməyə və rəqəmsal texnologiyalardan asılılığı tədricən azaltmağa kömək edir. Kanadada bu model klinik şəraitə integrasiya edilmiş, müalicə proqramları, fərdi terapiya, qrup seansları və rəqəmsal detoks planlarını özündə birləşdirməklə istifadə edilir [13].

Stasionar Reabilitasiya Mərkəzləri.

İA-nın ictimai sağlamlıq üçün fəvqəladə hal olaraq qiymətləndirildiyi ölkələrdə intensiv müalicəni təmin etmək üçün stasionar reabilitasiya mərkəzləri yaradılır. Məsələn, Çində ciddi asılılıq əlamətləri olan yeniyetmələr üçün dövlət

tərəfindən maliyyələşdirilən çoxsaylı reabilitasiya düşərgələri fəaliyyət göstərir [14]. Bu mərkəzlərdə çox ciddi nizam-intizam, psixoloji məsləhət və fiziki fəaliyyətin birləşməsinə özündə birləşdirir.

Texnologiya Yardımı ilə Müdaxilələr.

Bir sıra ölkələrdə rəqəmsal alətlərin köməyi ilə İA probleminin həllinə cəhdlər müşahidə olunur. Ekran vaxtına nəzarət, rəqəmsal savadlılığın təşviqi və real vaxtda KDT məşqlərini həyata keçirən proqramlar İA-nın müalicəsində vasitə kimi istifadə edilir. Hollandiyada mərkəzdən uzaq olan rayonlarda yaşayan insanların psixi sağlamlıq mütəxəssislərinə çıxışının məhdud olduğunu nəzərə alaraq mobil sağlamlıq (mHealth) platformalarından istifadə edilir. Onlar bu texnologiya vasitəsilə rəqəmsal əlaqəni terapevtik fayda ilə balanslaşdırmağa səy göstərilir [15].

İcma və Ailə Əsaslı Proqramlar.

Ailə və icmaya dəstək strukturları çox vaxt kollektiv mədəniyyətin bərpası prosesində mərkəzi rol oynayır. Yaponiya və Tayvan kimi ölkələrdə valideynlərin “rəqəmsal valideynlik” mövzusunda maarifləndirilməsi, ailədaxili ünsiyyəti yaxşılaşdırılması və qəyümlərə sağlam sərhədlərin təyin edilməsi məqsədilə ailə mərkəzli terapiya modelləri tətbiq edilir [16].

Şimali Amerikada 12 addımlı bərpa proqramları hesabatlılığı, paylaşılan təcrübəni və uzunmüddətli davranış dəyişikliyinə vurğulayır [17].

Profilaktik Maarifləndirici Kampaniyalar.

İA-nın qarşısının alınmasında maarifləndirmənin aparılması daha əhəmiyyətlidir. Avstraliya və Kanada kimi ölkələrdə rəqəmsal savadlılığı, sağlam ekran vərdişlərini və erkən müdaxiləni təşviq etmək məqsədini daşıyan ümummilli təhsil kampaniyaları keçirilir. Məktəblərdə kurikulum proqramına media istehlakı, kiber zorakılıq və özünütənzimləmə ilə bağlı müzakirələr daxildir [13].

İA ilə mübarizədə yanaşmalar mədəni, institusional və texnoloji kontekstlərə, millətlərə və digər göstəricilərə görə fərqli olsa da, effektiv proqramlar şəklində ümumi mövzuları: psixoloji məsləhət, davranış modifikasiyası, ailənin iştirakı və ictimai təhsili özündə birləşdirir. Lakin burada İnternet asılılığı ilə mübarizədə əsas problemlərdən biri ümumi şəkildə qəbul edilmiş diaqnostik meyarların olmamasıdır.

V. İNTERNET ASILILIĞINI IDARƏ ETMƏK ÜÇÜN PRAKTIKİ STRATEGIYA VƏ TÖVSIYƏLƏR

İnternetdən istifadə edərkən zəif özünə nəzarət fərdin şəxsi rifahına, münasibətlərinə və peşəkar məsuliyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə zərər verə bilər, nəticədə İnternet asılılığına səbəb ola bilər. Bu zərərli vərdişlərin aradan qaldırılması və ya qarşısının alınması həm fərdi davranışlara, həm də ətraf mühitə yönəlmiş vahid yanaşma tələb edir. Burada, şəxsi şüuru və nizam-intizamı inkişaf etdirməklə yanaşı, tarazlığı və rifahı təşviq edən daha sağlam rəqəmsal mühitləri inkişaf etdirmək əhəmiyyətli ola bilər. Aşağıda İA-nı idarə etmək üçün bəzi tövsiyələr verilir:

- İnternetə çıxış ilə əlaqəli vaxt məhdudiyyətlərinə, vacib olmayan (sosial media, oyun, yayım) informasiyaya çıxışa sərhədlərin qoyulması üçün ekran vaxtını izlənməsi, proqram taymerləri və s. kimi proqram texniki tədbirlərin tətbiqi edilməsi;
- Oflayn fəaliyyətə üstünlük vermək, açıq havada vaxt keçirmək, kitab oxumaq, yaradıcılıqla məşğul olmaq, dostlarla görüşmək, real mühitdə klublara qoşulmaq, fiziki olaraq tədbirlərdə iştirak etmək üçün səy göstərmək, öz-özə sosial qarşılıqlı əlaqələri inkişaf etdirmək, idman və s. kimi məşğuliyyətlərin olması;
- İnternetdən məqsədli və ağıllı şəkildə istifadə olunması;
- İstifadəçilərin daha çox vaxt keçirdiyi məkanlarda ekransız zonaların yaradılması;
- Sağlam rəqəmsal vərdişlərin əhəmiyyəti haqqında bütün yaş qrupları - uşaqlar, yeniyetmələr, gənclər və böyüklər ilə açıq söhbətlərin təşviqi, həddindən artıq İnternet istifadəsinin potensial riskləri haqqında məlumatlılığın artırılması və nəsilər arasında anlayışın gücləndirilməsi.

Yuxarıda qeyd olunan tövsiyələr istifadəçilərin İA problemlərinin həllində faydalı ola bilər.

VI. NƏTİCƏ

Artan İA probleminə global şəkildə reaksiya hələ də inkişaf etməkdədir. Bu problem müxtəlif ölkələrdə müxtəlif dərəcələrdə tanınma, araşdırma və siyasətin həyata keçirilməsi ilə əlamətdar olan formalaşma mərhələsindədir. Bəzi dövlətlərdə isə ictimai sağlamlıq kampaniyalarına başlamaq, müalicə mərkəzləri yaratmaq və tənzimləyici çərçivələri tətbiq etmək kimi fəal tədbirlər səviyyəsindədir, digərlərində hələ də məsələnin əhatə dairəsini və mahiyyətini anlamaqda çətinlik çəkirlər. Bu qeyri-bərabərlik daha vahid və əlaqələndirilmiş global reaksiyaya təcili ehtiyac olduğunu vurğulayır.

İstifadəçilərin fərdi və ictimai rifahını mühafizə etmək, qiymətləndirmək və yeni strategiya və proqramlar hazırlamaq üçün hərtərəfli və global səviyyədə əlaqələndirilmiş yanaşmanın olması İA-nın təsiri ilə meydana çıxan çoxşaxəli problemlərin effektiv həllində mühüm nəticələrin əldə edilməsinə müsbət təsir göstərəcəkdir.

İSTİNADLAR

- [1] R.M.Əliquliyev, R.Ş.Mahmudov, "İnternet asılılığı və onunla mübarizə məsələləri," *İnformasiya Cəmiyyəti Problemləri*, 2(6), 2012, s. 7-18.
- [2] R.M.Alquliyev, F.J. Abdullayeva, and S.S. Ojagverdiyeva, "Log-file analysis to identify internet-addiction in children," *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 23-31, <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2021.05.03>
- [3] M. A.Mamun, M. A.Rafi, A. S. Al Mamun, M. Z.Hasan, K. Akter, K.Hsan, and M. D. Griffiths, "Prevalence and psychiatric risk factors of excessive internet use among northern Bangladeshi job-seeking graduate students: a pilot study," *International Journal of Mental Health and Addiction*, 2021, vol. 19, pp. 908-918, <https://doi.org/10.1007/s11469-019-00066-5>

- [4] G.Aktaş, N.Namlı, H.Durmuş, and S. Karakoç, "The effect of mothers' pathological internet use and psychopathology on children's pathological internet use," *Klinik Psikiyatri Dergisi*, 2024, vol. 27, no. 3, pp. 207 - 214, 10.5505/kpd.2024.94809
- [5] K. W. Müller, M.Dreier, and K. Wölfling, "Personality traits and their role as risk modifiers in gaming disorder and internet use disorders," *Current Opinion in Psychiatry*, vol. 36, no. 1, 2023, pp.75-79, 10.1097/YCO.0000000000000827
- [6] R.Zhou, N.Morita, Y.Ogai, T.Saito, X.Zhang, W.Yang, and F.Yang, "Meta-analysis of Internet gaming disorder prevalence: Assessing the impacts of DSM-5 and ICD-11 diagnostic criteria," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2024, vol.21, no.6, p. 700. <https://doi.org/10.3390/ijerph21060700>
- [7] M. R.Zheng, X. D.Wu, P.Chen, T. L.Si, S. Y. Rao, H. Y.Zhu, and Y. T. Xiang, "Prevalence of internet addiction among Chinese adolescents: a comprehensive meta-analysis of 164 epidemiological studies," *Asian Journal of Psychiatry*, 2025, vol. 107, p. 104458. <https://doi.org/10.1016/j.ajp.2025.104458>
- [8] Steven Knight, *Technology Addiction Facts and Statistics 2024*, July 3, 2024, <https://www.sellcell.com/blog/technology-addiction-statistics-facts/>
- [9] V.Ivanova, 02-12-2025, Internet addiction: symptoms, signs, causes, effects, and treatments, https://diamondrehabthailand.com/what-is-internet-addiction/#What_are_the_symptoms_of_internet_addiction
- [10] A.Acikgoz, B.Acikgoz, and O.Acikgoz, "The effect of internet addiction and smartphone addiction on sleep quality among Turkish adolescents," *PeerJ*, 2022, vol.10, p.e12876. 10.e12876. <https://doi.org/10.7717/peerj.12876>
- [11] L.S. Quang, D. T. T Bui, D. T. Le, T. T. P. Nguyen and N. T. K. Dam, "The Relationship Between Depression, Anxiety, Stress And Internet Use Among High School Students," *ASEAN Journal of Psychiatry*, 2024, vol.25, no.5, 10.54615/2231-7805.47354
- [12] J. R. Mota-Carmona, F.Pérez-Escamirosa, A.Minor-Martínez, and R. M. Rodríguez-Reyna, "Muscle fatigue detection in upper limbs during the use of the computer mouse using discrete wavelet transform: A pilot study," *Biomedical Signal Processing and Control*, 2022, vol.76, p.103711.
- [13] L.C.Quilty, Q. Leanne, and K.S. Dobson, "Canadian contributions to cognitive behavioral therapy for depression," *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement*, 2022, vol.4, no.2, pp. 132-141, 2022. <https://doi.org/10.1037/cbs0000293>
- [14] Y.Rao, "4 REBOOTING A FAMILY: Helping Children in Internet Addiction Treatment Camps," *The Extraordinary in the Mundane: Family and Forms of Community in China*, Columbia University Press, pp.141-176, 2025.
- [15] C. M. Van Leersum, M. Bults, E.Siebrand, T. J. J. Olthuis, R. E. M. Bekhuis, A. A. J. Konijnendijk, and M. E. M. den Ouden, "Exploring Opportunities and Challenges for the Spread, Scale-Up, and Sustainability of mHealth Apps for Self-Management of Patients With Type 2 Diabetes Mellitus in the Netherlands: Citizen Science Approach," *JMIR Diabetes*, 2024, vol. 9, e56917. doi:10.2196/56917
- [16] F. C. Chang, C. H.Chui, P. H.Chen, J. T.Chiang, N. F. Miao, H. Y. Chuang, and S. Liu, "Children's use of mobile devices, smartphone addiction and parental mediation in Taiwan," *Computers in Human Behavior*, pp. 25-32, 2019.
- [17] 12-Step Programs: 12 Steps to Recovery from Addiction, <https://americanaddictioncenters.org/rehab-guide/12-step>

Sosial Media Resurslarının Pasiyent-dərman Seqmentində Rəylərin Sentiment Analizi

Məsumə Məmmədova¹, Zərifə Cabrayilova², Nərgiz Şıxəliyeva³

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹mmg51@mail.ru, ²djabrailova.z@mail.ru, ³shikhaliyeva.nara@gmail.com

Xülasə— Məqalədə sosial medianın tibb seqmentində toplanan dərmanlarla bağlı pasiyent rəylərinin sentiment analizi əsasında pasiyent-xəstəlik-dərman əlaqələrinin aşkarlanması və xəstəliklər üzrə dərmanların effektivliyinin təyini məsələsinə baxılmışdır. Dərmanlar haqqında pasiyent rəylərinin analizini aparmaq üçün Kaggle platformasının *drugsComTest_raw.csv* tibbi məlumat bazasından istifadə edilmiş, leksikon əsaslı sentiment analiz, statistik metodlar və maşın təlimi alqoritmləri tətbiq edilmişdir. Rəylərdə aşkarlanmış pasiyent-xəstəlik, xəstəlik-dərman əlaqələri üzrə rəylərin sentiment analizi aparılmış, pasiyent-dərman seqmentində toplanan rəylər əsasında: 1) ən çox hansı xəstəliklərlə bağlı dərmanlara müraciət edildiyi; 2) hər bir xəstəliklə bağlı daha çox hansı dərmana üstünlük verildiyi kimi məsələlərin həll imkanı göstərilmişdir. Bu məsələlərin integrasiyasından alınan nəticələr əsasında müxtəlif tibbi vəziyyətlər (xəstəliklər) üçün dərmanların effektivliyi ilə bağlı ictimai rəy identifikasiya edilmişdir.

Açar sözlər— tibbi sosial media; sentiment analiz; maşın təlimi; dərmanlar haqqında.

I. GİRİŞ

Son illərdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı və sosial media platformalarının geniş yayılması səhiyyə sahəsində yeni məlumat mənbələrinin meydana çıxmasına səbəb olmuşdur. Əvvəllər pasiyentlərin sağlamlıqla bağlı təcrübələri əsasən həkim-pasiyent görüşlərində, rəsmi sorğularda və ya klinik tədqiqatlar vasitəsilə qeydə alınırıdysa, bu gün artıq pasiyentlər öz gündəlik sağlamlıq vəziyyətlərini, dərmanlara qarşı reaksiyalarını, xəstəliklərlə bağlı düşüncələrini və s. könüllü şəkildə sosial mediada paylaşırlar. Bu platformalardan olan X, Facebook, Reddit, Instagram, DailyStrength və digər forumlar pasiyentlərin xəstəlik simptomları, diaqnoz təcrübələri, müalicə metodları və dərman istifadəsinə dair fikirlərini real zamanda paylaşmağa imkan verir [1, 2]. Bu platformalar pasiyentlər üçün təkcə sosial dəstək məkanı deyil, eyni zamanda digər oxşar problemlərlə qarşılaşan şəxslərlə əlaqə qurmaq və alternativ müalicə yolları haqqında məlumat toplamaq üçün də effektiv vasitədir. Belə rəylər tibb sahəsi üçün dəyərli məlumat mənbəyi olmaqla yanaşı, xəstəliklər, dərman reaksiyaları və müalicə nəticələri haqqında qeyri-rəsmi, lakin əhəmiyyətli məlumatların toplanmasına şərait yaradır [3].

[4-6]-də ictimai rəyi nəzərə almaqla daha obyektiv və şəffaf qərarların qəbulu üçün tibbi sosial medianın həkim-pasiyent, tibb müəssisəsi-pasiyent seqmentində toplanmış informasiyaya istinad edilməklə həkim, tibb müəssisəsinin fəaliyyətinin

qiymətləndirilməsi məsələlərinin həllinə baxılmışdır. Son dövrlərdə dərmanların effektivliyinin qiymətləndirilməsi, səhiyyənin bu seqmentində daha şəffaf qərarların qəbuluna həsr edilmiş tədqiqatlarda ictimai rəyin nəzərə alınması məqsədilə pasiyent rəylərinin analizinə diqqət artmışdır [7-9].

Pasiyentlərin müxtəlif platformalarda dərman istifadəsi ilə bağlı təcrübələr, həmçinin müalicə üsullarının effektivliyi və yan təsirləri haqqında yazılı şəkildə paylaşıdığı əhəmiyyətli məlumatlar çoxsaylı və müxtəlif formatlarda olduğundan onların təhlili mürəkkəb və çətindir. Bununla belə bu rəylərin içində strukturlaşdırılmamış məlumat və emosional ifadələr mövcud olduğundan, onların düzgün şəkildə emalı xüsusi yanaşmalar tələb edir. Bu məqsədlə təbii dilin emalı (*ing. natural language processing (NLP)*) və maşın təlimi (*ing. machine learning (ML)*) texnologiyalarından istifadə edilir [10]. NLP metodları, mətni analiz edərək məzmunu çıxarmağa və strukturlaşdırmağa imkan verir. Maşın təlimi alqoritmləri düzgün və avtomatlaşdırılmış nəticələr əldə etməyə kömək edir. Bu texnologiyalar vasitəsilə istifadəçilərin rəylərindəki emosiyaları və fikirləri təhlil etmək, rəylərin müsbət, mənfi və neytral olduğunu müəyyənləşdirmək mümkündür. Bu proses ictimai rəyin daha aydın və dəqiq şəkildə anlaşılmasına kömək edir.

II. MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Hazırkı tədqiqatın əsas məqsədi pasiyent rəylərinin sentiment analiz əsasında dərmanların effektivliyinin müəyyənləşdirilməsindən ibarətdir. Bu məqsədlə pasiyentlərin dərmanların effektivliyi, yan təsirləri və istifadəsi ilə bağlı sosial mediada paylaşıdığı rəyləri (mətn tipli şərhləri) analiz olunur.

Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli nəzərdə tutulur:

1. Pasiyent-dərman seqmentində olan rəylərin toplanması və ilkin emalı.
2. Pasiyent rəylərinin sentiment analizi və nəticələrin dəqiqliyinin yoxlanılması.
3. Pasiyent-xəstəlik əlaqələrinə görə müxtəlif tibbi vəziyyətlər üzrə rəylərin nizamlanması.
4. Xəstəlik-dərman əlaqələrinə görə tibbi vəziyyətlər üzrə dərmanların nizamlanması.
5. Eyni bir tibbi vəziyyət üzrə dərmanların reytinginin təyini.

III. MƏSƏLƏNİN HƏLLİ

A. Pasiyent-dərman seqmentində olan rəylərin toplanması və ilkin emalı

Pasiyentlərin dərmanlara bağlı rəylərinin analizi üçün *Kaggle* şirkətinin *drugsComTest_raw.csv* adlı açıq məlumat bazası seçilmişdir [11]. Məlumat bazası aşağıdakı əsas sütunlarından ibarətdir (şəkil 1):

- dərmanın adı: pasiyentlərin müxtəlif tibbi vəziyyətlərdə, xəstəliklərdə istifadə etdiyi dərmanlardır. Hər bir vəziyyət, xəstəlik üçün çoxlu sayda dərman istifadə oluna bilər;
- vəziyyət: dərmanın istifadə edildiyi tibbi vəziyyəti (xəstəliyi) təsvir edir.
- rəy: pasiyentlərin dərmanla bağlı mətn tipli şərhini əhatə edir;
- istifadə sayı: dərmanın nə qədər istifadəçi tərəfindən istifadə olduğunu göstərir.

Bu mərhələdə xam mətn məlumatlarının analizi üçün verilənlərin ilkin emalı həyata keçirilir, məlumatlar istifadə üçün yararlı formaya salınır. Bu mərhələdə aşağıdakı əməliyyatlar yerinə yetirilir [12]:

1. mətnin kiçik hərflərə çevrilməsi: mətnə yer alan bütün böyük hərflər kiçik hərflərə çevrilir, beləliklə "Quick" və "quick" kimi fərqli yazılımaların eyni sözü ifadə etməsi təmin edilir;
2. Dürğu işarələrinin silinməsi: mətnin içindəki nöqtələr, vergüllər və digər dürğu işarələri təhlil zamanı maneə yaratmamaq məqsədilə mətnəndən çıxarılır;

3. Rəqəmlərin silinməsi: mətndəki rəqəmlər silinir, çünki təhlil söz əsaslı verilənlərə əsaslanır.

4. Stop sözlərinin silinməsi: bu mərhələdə çox istifadə olunan, lakin sentiment analizinə faydası olmayan "and", "the", "is" kimi sözlər mətnəndən çıxarılır. Bu, mətnin daha yığcam və təhlilə uyğun hala gəlməsinə kömək edir;

5. Lemmatizasiya: sözlər kök formasına salınır, məsələn, "running" və "runs" sözləri "run" şəklində normallaşdırılır. Bu, təhlil prosesində eyni kökə sahib müxtəlif formaların eyni anlayış kimi qəbul edilməsini təmin edir.

B. Pasiyent rəylərinin sentiment analizi və nəticələrin dəqiqliyinin yoxlanılması

Bu mərhələdə leksikon əsaslı sentiment analiz yanaşması tətbiq edilib. Bu yanaşmada hər bir rəyin tonallığı (müsbət, mənfi və ya neytral) *TextBlob* kitabxasından istifadə edilməklə müəyyən edilir. *TextBlob*-un sentiment analiz funksiyası, mətndəki emosional ifadələri təhlil edərək həmin rəyin polyarlıq (müsbət və ya mənfi istiqamətdə) dərəcini hesablayır. Polyarlıq dərəcəsinə əsasən rəyin müsbət, mənfi və ya neytral olduğu müəyyən edilir. Sonra məlumatlar train və test hissələrinə ayrılır və mətnlər TF-IDF ilə vektorlaşdırılır. *Logistik Regressiya* modeli təlim edilir və test verilənləri üzərində proqnozlaşdırma aparılır. Modelin dəqiqliyi və qiymətləndirilməsi ilə nəticələr dəyərləndirilir (şəkil 2). Bu mərhələ, mətn tipli rəylərin sentiment analizi modelinin yaradılmasını və onların qiymətləndirilməsini təmin edir.

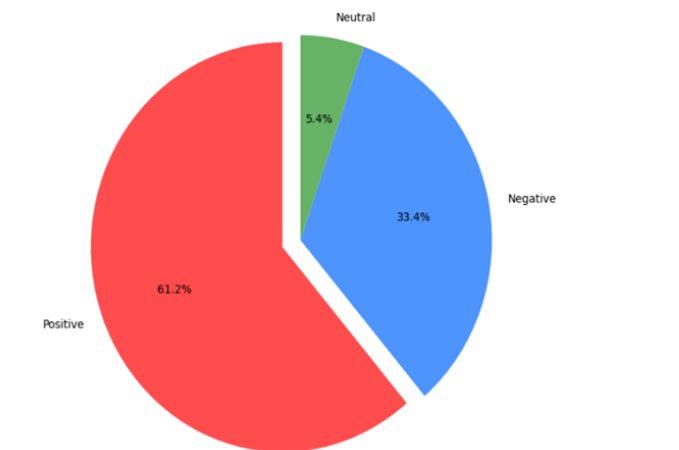
	uniqueID	drugName	condition	review	rating	date	usefulCount
0	163740	Mirtazapine	Depression	"I've tried a few antidepressants over th...	10	28-Feb-12	22
1	206473	Mesalamine	Crohn's Disease, Maintenance	"My son has Crohn's disease and has done ...	8	17-May-09	17
2	159672	Bactrim	Urinary Tract Infection	"Quick reduction of symptoms"	9	29-Sep-17	3
3	39293	Contrave	Weight Loss	"Contrave combines drugs that were used for al...	9	5-Mar-17	35
4	97768	Cyclafem 1 / 35	Birth Control	"I have been on this birth control for one cyc...	9	22-Oct-15	4

Şəkil 1. Sentiment analiz üçün Kaggle şirkətinin drugsComTest_raw.csv adlı açıq məlumat bazasına giriş

Model Accuracy: 87.97%				
Classification Report:				
	precision	recall	f1-score	support
0	0.89	0.82	0.86	3586
1	0.88	0.95	0.91	6613
2	0.83	0.40	0.54	555
accuracy			0.88	10754
macro avg	0.87	0.72	0.77	10754
weighted avg	0.88	0.88	0.87	10754

Şəkil 2. Logistik Regressiya modelinin dəqiqlik nəticəsi.

Aparılan analiz nəticəsində ümumilikdə 53766 rəydən 32920 pozitiv, 17956 neqativ və 2890 neytral olduğu müəyyən olunmuşdur. Nəticələrin faizlə ifadəsinin vizual görüntüsü Şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Kaggle şirkətinin drugsComTest_raw.csv adlı açıq məlumat bazasındakı pasiyentlərin dərmanlarla bağlı rəylərinin sentiment analizindən alınan nəticələrin vizual görüntüsü.

C. Pasiyent-xəstəlik əlaqələrinə görə müxtəlif tibbi vəziyyətlər üzrə rəylərin nizamlanması

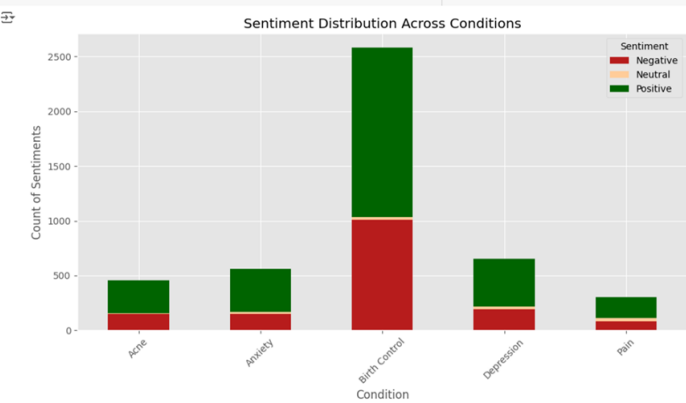
Bu mərhələdə dərman istifadə edən pasiyentlərin rəylərinin hansı tibbi vəziyyətlə (xəstəliklə) bağlı olduğu araşdırılmış, tədqiqat pasiyent-xəstəlik seqmentində davam etdirilmişdir. Bu mərhələdə ən çox rəy toplayan 5 tibbi vəziyyət seçilmiş (Sızanaq, Narahatlıq, Doğum Nəzarəti, Depressiya və Ağrı), onlar üzrə rəylərin SA yerinə yetirilmişdir. Nəticələrin mənfi, neytral və müsbət kateqoriyalara paylanması cədvəl 1-də və bu nəticələrin vizual görüntüsü şəkil 4-də verilmişdir.

CƏDVƏL 1. BEŞ TIBBI VƏZİYYƏT ÜZRƏ İSTİFADƏ EDİLƏN DƏRMANLARLA BAĞLI PASİYENT RƏYLƏRİNİN SENTIMENT ANALİZİNİN NƏTİCƏLƏRİ

Vəziyyət	Pozitiv	Neqativ	Neytral	Umumi
Doğuma Nəzarət	5696	3835	117	9648
Depressiya	2043	936	116	3095
Ağrı	1369	537	194	2100
Narahatlıq	1290	539	79	1908
Sızanaq	1210	608	29	1847

D. Xəstəlik-dərman əlaqələrinə görə tibbi vəziyyətlər üzrə dərmanların nizamlanması

Bu mərhələdə baxılan 5 tibbi vəziyyət (xəstəlik) üzrə istifadə olunan dərmanlar haqqında rəylərin sentiment analizi aparılmış və hər bir vəziyyət üzrə pozitiv rəylər sayına görə dərmanların nizamlanmış siyahısı alınmışdır (cədvəl 2).



Şəkil 4. Dərmanlarla bağlı pasiyent rəylərinin beş tibbi vəziyyət üzrə sentiment analizin vizual görüntüsü.

CƏDVƏL 2. BEŞ TIBBI VƏZİYYƏT ÜZRƏ İSTİFADƏ EDİLƏN DƏRMANLARLA BAĞLI PASİYENT RƏYLƏRİNİN SENTIMENT ANALİZİNƏ ƏSASƏN İLK ÜÇLÜKDƏ OLAN DƏRMANLAR

Vəziyyət	Dərman adı	Pozitiv (%)	Neytral (%)	Neqativ (%)
Sızanaq	Accutane	74.57	0	25.43
	Doxycycline	66.42	3.47	30.11
	Isotretinoin	64.36	0.93	34.71
Narahatlıq	Bupropion	75	0	25
	Gabapentin	74.67	1.33	24
	Escitalopram	72.65	1.68	25.67
Doğuma Nəzarət	Etonogestrel	64.53	0.75	34.72
	Ethinyl estradiol / norethindrone	61.11	0.86	38.03
	Levonorgestrel	57.83	1.55	40.62
Depressiya	Bupropion	71.46	3.35	25.19
	Sertraline	70.77	2.93	26.30
	Escitalopram	67.88	3.85	28.27
Ağrı	Oxycodone	64.88	12.70	22.42
	Tramadol	63.79	8.60	27.61
	Gabapentin	60.53	10.53	28.95

E. Xəstəlik-dərman əlaqələrinə görə tibbi vəziyyətlər üzrə dərmanların nizamlanması

C və D mərhələlərində alınan nəticələrin inteqrasiyası əsasında dərmanların effektivliyi ilə bağlı ictimai rəy aşağıdakı kimi identifikasiya olunur:

- 1.Sızanaq: Sızanaq üçün dərmanlar arasında, Accutane dərmanı ən çox müsbət rəy sayına və ən az neqativ rəy faizinə malikdir, bu baxımdan effektivlik baxımından digər dərmanları qabaqlayır.
- 2. Narahatlıq: Narahatlıqla bağlı dərmanlar arasında Bupropion ən çox müsbət rəyi toplayan dərmandır, bu dərman haqqında heç bir neytral rəy olmadığı məlum olmuşdur.
- 3. Doğum Nəzarəti: Doğum nəzarəti üçün dərmanlar arasında Etonogestrel yüksək müsbət rəy, ən az neytral və neqativ rəy faizinə sahibdir.

4. Depressiya: Depressiya üçün dərmanlar arasında, *Bupropion* ən yaxşı nəticələrə, istifadəçilər tərəfindən daha çox müsbət rəy və ən az neqativ rəy faizinə sahibdir. Pasiyentlərin rəylərinin pozitivlik faizlərinə görə *Sertraline* və *Bupropion* dərmanlarının nəticələri bir-birinə çox yaxın olsa da, ikinci daha çox neqativ rəyə malikdir.

5. Ağrı: Ağrı müalicəsi üçün dərmanlar arasında *Oxycodone* ən yüksək müsbət rəy faizinə və ən az neqativ rəy faizinə malik dərmandır. Bu vəziyyət üzrə *Gabepentin* ən çox müsbət rəy toplayanların sırasında olsa da, ən çox neqativ rəy faizinə sahib dərmandır.

Beləliklə, tibbi sosial medianın pasiyent-dərman seqmentində toplanan rəylər əsasında pasiyentlərin ən çox hansı xəstəliklərlə bağlı dərmanlara müraciət etdikləri, hər bir xəstəliklə bağlı daha çox hansı dərmana üstünlük verildiyi kimi məsələlərin həll imkanı göstərilmişdir. Bu məsələlərin integrasiyasından alınan nəticələr əsasında müxtəlif tibbi xəstəliklər üzrə dərmanların effektivliyi ilə bağlı ictimai rəy identifikasiya edilmişdir.

IV. NƏTİCƏ

Dərmanların effektivliyinin təyini üçün təklif edilən yanaşma əsasında onların mümkün yan təsirlərinin də qiymətləndirilməsi maraq kəsb edir. Belə ki, pasiyent rəyləri vasitəsilə təkcə dərmanların effektivliyi deyil, həmçinin onların yan təsirləri və pasiyentlər tərəfindən necə qəbul edildiyi ilə bağlı ətraflı məlumat əldə etmək mümkündür. Digər tərəfdən, müəyyən xəstəliklərdə istifadə olunan bir sıra dərmanların yüksək müsbət rəy faizinə malik olmasına baxmayaraq onunla bağlı neqativ rəylərdə (hətta az sayda olsa da) ciddi yan təsirlər haqqında məlumatlara rast gəlmək mümkündür. Bu səbəbdən tədqiqatın davamı olaraq neqativ rəylərin daha dərinlən təhlili və onlardakı məlumatlar əsasında dərmanların effektivliyinin qiymətləndirilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

İSTİNADLAR

- [1] A. Sarker, R. Ginn, A. Nikfarjam, K. O'Connor, K. Smith, S. Jayaraman, T. Upadhaya, and G. Gonzalez, "Utilizing social media data for pharmacovigilance: A review," *Journal of Biomedical Informatics*, 2015, vol. 54, pp. 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.02.004>
- [2] A. Nikfarjam, et al., "Pharmacovigilance from social media: mining adverse drug reaction mentions using sequence labeling with word embedding cluster features," *Journal of the American Medical Informatics Association*, 2015, vol. 22, no. 3, pp. 671–681. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocu041>
- [3] D. Wessel and N. Pogrebnyakov, "Using Social Media as a Source of Real-World Data for Pharmaceutical Drug Development and Regulatory Decision Making," *Drug Saf*, 2024, vol. 47, pp. 495–511. <https://doi.org/10.1007/s40264-024-01409-5>
- [4] M. H. Mammadova and Z. G. Jabrayilova, *Electronic medicine: formation and scientific-theoretical problems*. Bakı: "Information Technologies" Publishing House, 2019. <https://ict.az/uploads/files/E-medicine-monograph-IIT-ANAS.pdf>
- [5] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, and N. R. Shikhaliyeva, "Lexicon-based sentiment analysis of medical data," *Technology Transfer: Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions*, pp. 7–10, 2022. <https://doi.org/10.21303/2585-6847.2022.002671>
- [6] M. H. Mammadova, Z. G. Jabrayilova, and A. M. Isayeva, "Conceptual approach to the use of information acquired in social media for medical decisions," *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 2020, vol. 10, no. 2, p. e202007.
- [7] D. Cavalcanti and R. Prudêncio, "Aspect-based opinion mining in drug reviews," *Progress in Artificial Intelligence*. EPIA 2017, Lecture Notes in Computer Science, 2017, vol. 10423, pp. 815–827. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65340-2_66
- [8] F. Gräßer, S. Kallumadi, H. Malberg, and S. Zaunseder, "Aspect-based sentiment analysis of drug reviews applying cross-domain and cross-data learning," In *Proceedings of the 2018 International Conference on Digital Health*, 2018, pp. 121–125.
- [9] B. Panda, C. R. Panigrahi, and B. Pati, "Exploratory data analysis and sentiment analysis of drug reviews," *Computación y Sistemas*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 1191–1199.
- [10] G. Alexander, M. Bahja, and G. F. Butt, "Automating large-scale health care service feedback analysis: sentiment analysis and topic modeling study," *JMIR Medical Informatics*, 2022, vol. 10, no. 4, p. e29385.
- [11] Kaggle.com, "UCI ML Drug Review dataset," <https://www.kaggle.com/datasets/jessicali9530/kuchackathon-winter-2018>
- [12] K. Kowsari, K. Jafari Meimandi, M. Heidarysafa, S. Mendu, L. E. Barnes, and D. E. Brown, "Text Classification Algorithms: A Survey," *Information*, 2019, vol. 10, no. 4, p. 150. <https://doi.org/10.3390/info10040150>

Rəqəmsal Tibb 4.0 Mühitində Təcili Tibbi Yardım Xidməti: Çağırışlar, İmkanlar və Perspektivlər

Anar Səmidov

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

anarsamidov@gmail.com

Xülasə— Təcili tibbi yardım (TTY) istənilən ölkənin səhiyyə sisteminin ayrılmaz hissəsidir. Kritik vəziyyətlərdə olan insanlara vaxtında və peşkar yardım göstərilməsini təmin edir. Bir çox ölkələrdə olduğu kimi, Azərbaycanda da təcili tibbi yardım xidmətlərinin infrastrukturunun inkişafı və fəaliyyəti prioritet məsələdir. Məqalədə rəqəmsal tibb 4.0 konsepsiyasının təsiri altında təcili tibbi yardım sisteminin transformasiyası araşdırılmışdır, təcili tibbi yardımda diaqnostika, müalicə və idarəetmədə inqilab edən məsafədən tibb, süni intellekt, əşyaların interneti (IoT), mobil texnologiyalar, o cümlədən smartfonlar, planşetlər, mobil proqramlar və yeni nəsil geyilə bilən ağıllı saatlar, biosensorların inteqrasiyası eləcə də böyük verilənlər kimi əsas texnologiyalar və yanaşmalar təhlil edilmişdir. Rəqəmsal həllərin tətbiqinin faydaları, o cümlədən diaqnostik dəqiqlik, fərdiləşdirilmiş müalicə və resursların optimallaşdırılması müzakirə olunur. Rəqəmsal Tibb 4.0 TTY xidmətlərini yalnız texniki baxımdan deyil, həm də idarəetmə, qərar qəbul etmə və xəstə məmnuniyyəti baxımından təkmilləşdirir. Xüsusilə real vaxt rejimində məlumat mübadiləsi, xəstə monitorinqi və resursların səmərəli bölgüsü TTY xidmətlərinin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Rəqəmsallaşma dövründə təcili tibbi yardımın gələcək inkişafı üçün çağırışlar və perspektivlər də nəzərdən keçirilmişdir.

Açar sözlər— *rəqəmsal tibb 4.0, geyilə bilən cihazlar, smart saatlar, biosensorlar, məsafədən tibb, süni intellekt, əşyaların interneti, böyük verilənlər, kiber-fiziki sistemlər.*

I. GİRİŞ

Təcili tibbi xidmət sistemi kritik vəziyyətdə olan xəstələrə təcili tibbi yardım göstərən səhiyyə sisteminin mühüm komponentidir. Təcili tibbi xidmətlərin səmərəliliyi və vaxtında olması xəstəliyin nəticələrinə və insanların həyatını xilas etməyə birbaşa təsir göstərir. Son illər müxtəlif fəaliyyət sahələrini, o cümlədən təbabəti kökündən dəyişən rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı müşahidə olunur. Rəqəmsal tibb 4.0 konsepsiyası tibbi xidmətin keyfiyyətini, əlçatanlığını və səmərəliliyini artırmaq üçün qabaqcıl rəqəmsal alətlərinin və yanaşmalarının inteqrasiyasıdır. Rəqəmsal Tibb 4.0 proaktiv məlumatlara əsaslanan səhiyyə xidmətinə təqdim etmək üçün süni intellekt (Sİ), Kiber-fiziki (KFS) sistemlər, IoT və mobil texnologiyaları birləşdirir. Ağıllı saatlar və biosensorlar kimi yeni nəsil geyilə bilən cihazlar real vaxt rejimində həyati əlamətlərin monitorinqi və proqnozlaşdırılan analitika təklif etməklə əsas rol oynayır. Bununla belə, kəndlərdə əlaqə boşluqları, rəqəmsal savadlılıq maneələri və kibertəhlükəsizlik riskləri kimi problemlər həll edilməlidir [1,2].

Rəqəmsal Tibb 4.0 Azərbaycanın dinamik səhiyyə mənzərəsində yeni üfqlər açır. Bu transformasiyanın mərkəzində əhalinin gündəlik həyatının ayrılmaz parçası olan mobil texnologiyalar dayanır. Ölkənin coğrafi müxtəlifliyi və bəzi regionlarda internet infrastrukturunun məhdudiyyətləri nəzərə alındığında, mobil cihazlar tibbi xidmətlərin əlçatanlığını artırmaq üçün misilsiz imkanlar təqdim edir. Ucqar dağ kəndlərində yaşayan sakinlər, artıq böyük şəhərlərə gəlmədən belə mobil tətbiqlər vasitəsilə ixtisaslaşmış həkimlərlə onlayn konsultasiya keçirə bilir, ilkin diaqnoz almaq və müalicə planları haqqında məlumat əldə edirlər. Xroniki xəstəliklərdən əziyyət çəkən pasientlər öz mobil cihazları vasitəsilə həyati göstəricilərini (qan təzyiqi, qan şəkəri və s.) davamlı olaraq izləyir, nəticələri birbaşa həkimləri ilə paylaşır və fərdi müalicə taktikasının tənzimlənməsində aktiv iştirak edirlər. Gündəlik həyat tərzini optimallaşdırmaq istəyən vətəndaşlar üçün müxtəlif sağlamlıq tətbiqləri əsl köməkçiyə çevrilib. Bu tətbiqlər vasitəsilə fiziki aktivlik səviyyəsi izlənilir, sağlam qidalanma proqramları haqqında məlumatlar əldə edilir, stressin idarə olunması üçün təlimlər keçirilir və zərərli vərdislərdən uzaqlaşmaq üçün dəstək alınır.

Tibbi personal üçün də mobil texnologiyalar əvəzolunmaz alətə çevrilir. Həkimlər və tibb bacıları, pasientlərin elektron tibbi qeydlərinə (ETQ) mobil cihazlar vasitəsilə istənilən yerdən və istənilən vaxtda daxil ola bilir, bu da diaqnoz qoyma və müalicə təyini etmə proseslərini sürətləndirir. Mobil kommunikasiya platformaları vasitəsilə onlar üçün həmkarları ilə operativ şəkildə məlumat mübadiləsi aparmaq, mürəkkəb klinik halları müzakirə etmək və ən doğru qərarları qəbul etmək imkanı yaranır.

Lakin bu parlaq perspektivlərlə yanaşı, Azərbaycan reallığında bir sıra çətinliklər də mövcuddur. Bəzi bölgələrdə internetin zəif olması və ya ümumiyyətlə olmaması, əhalinin bir hissəsinin rəqəmsal savadlılıq səviyyəsinin aşağı olması, tibbi məlumatların təhlükəsizliyi ilə bağlı narahatlıqlar, mobil tibbi tətbiqlərin tənzimlənməsi üçün yetərli hüquqi bazanın olmaması və müxtəlif sistemlər arasında inteqrasiya problemləri müəyyən maneələr yaradır.

Bütün bu çətinliklərə baxmayaraq, Azərbaycan dövləti rəqəmsal transformasiya strategiyasının bir hissəsi olaraq səhiyyə sektorunda mobil texnologiyaların tətbiqinə böyük önəm verir. İnfrastrukturun inkişafı, əhalinin rəqəmsal savadlılığının artırılması, məlumat təhlükəsizliyinin təmin edilməsi və müvafiq qanunvericilik bazasının yaradılması istiqamətində məqsədyönlü tədbirlər həyata keçirilir.

Gələcəkdə mobil texnologiyalar Azərbaycan səhiyyə sisteminin ayrılmaz bir hissəsinə çevrilərək tibbi xidmətlərin daha əlçatan, keyfiyyətli və səmərəli olmasına töhfə verəcəkdir. Bu həm də ölkənin səhiyyə sahəsində regional liderliyə doğru atdığı mühüm addımlardan biri olacaqdır. Müasir dövrdə səhiyyə sistemləri, əsasən, coğrafi məsafə, məlumat mübadiləsinin ləngliyi və resursların qeyri-bərabər paylanması kimi maneələrlə üzləşir. Bu problemlərin həlli, insanların həyatını xilas etməklə yanaşı, səhiyyə xidmətlərinin ümumi səmərəliliyini də artırır. Təcili yardım maşınlarının marşrutlarının optimallaşdırılması xəstələrə ən qısa müddətdə çatmağı təmin edir. Bu, yol tıxacları, hadisə yerləri və digər amillər nəzərə alınmaqla, müasir naviqasiya sistemləri və süni intellektin köməyi ilə həyata keçirilə bilər [3]. Fövqəladə hallarda əməliyyat prosesi həyatı xilas etmək üçün yüksək səviyyədə məsuliyyət, peşəkarlıq və koordinasiya tələb edir. Yaxşı integrasiya olunmuş təcili tibbi yardım xidmətləri, bu prosesin ayrılmaz hissəsi olaraq, həyatı riskləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və xəstələrin sağ qalma şansını artırır [4].

II. ƏLAQƏLİ İŞLƏR

Təcili tibbi yardım maşınlarının və tibb müəssisələrinin yerləşdirilməsi və planlaşdırılması məsələsinin həlli istiqamətində xeyli işlər görülmüşdür. [5] işində təklif olunan metod, idarə oluna bilən iş saatlarının maksimum sayına əsasən briqadaların növbələrə təyin edilməsini nəzərdə tutur. Bu yanaşma, təcili yardım stansiyalarının fəaliyyətini optimallaşdırmağa, çağırışlara operativ reaksiya verməyə və nəticədə əhaliyə göstərilən tibbi xidmətlərin keyfiyyətini artırmağa imkan verir. Beləliklə, effektiv heyət planlaşdırılması və resursların optimal bölgüsü, təcili yardım xidmətlərinin səmərəliliyinin əsasını təşkil edir.

Məqalə [6]-də istifadə olunan model təcili yardım avtomobillərinin optimal yerləşməsinə təqdim edir. Əsas məqsəd müəyyən bir ərazidə təcili tibbi yardım tələblərinə cavab vermək üçün tələb olunan maşınların sayını azaltmaqla xidmət səviyyəsini qorumaqdır.

Məqalə [7]-də rəqəmsal texnologiyaların aşağı gəlirli ölkələrdə tibbi xidmətlərin mənzərəsini necə dəyişdirdiyini və növbəti onillikdə ümumi səhiyyə xidmətlərinə nail olmağın nəticələrini nəzərdən keçirir. Rəqəmsal səhiyyə yeni tibbi yardım modellərini təmin edərək səhiyyə sistemlərinə dərin təsir göstərir. Dünyada rəqəmsal texnologiyaların artımı bu dəyişikliklərin qaçılmaz olduğunu göstərir. Biz uzaqdan diaqnostika və müalicə üçün məsafədən tibbi dəstəyin göstərilməsinin xidmət keyfiyyətini artırmaq və nəqliyyat və çatdırılma xidmətlərinin təşkili ilə daha yaxşı göstərə bilərik. Nəzarət, planlaşdırma və idarəetmə üçün böyük verilənlər və süni intellekt alətləri fərdiləşdirilmiş müalicə protokolları şəklində “fərdiləşdirilmiş məlumatlar” səhiyyə sistemlərinin mərkəzinə çevriləcək. Hər hansı bir yenilikdə olduğu kimi rəqəmsal sağlamlığın yüksəlişi də toplanmış məlumatların kimə məxsus olması, onlara nəzarət, idarə etmə və məxfiliyin qorunub saxlanması da daxil olmaqla bir sıra problemlər gətirəcək.

Qulluq xidmətlərinin bir neçə personal arasında bölüşdürüldüyü nəzərə alınsa, elektron tibbi kartların təhlükəsizliyinin təmin edilməsi çox vacibdir. Xəstələrin və

həkimlərin düzgün identifikasiyası, şəxsi həyatın və məxfiliyin qorunması, tibbi personal üçün giriş icazələrinin təyin edilməsi tibbi məlumat şəbəkələrinin inkişafında əsas problemlərə çevrilir. Biometrik texnologiyalar fərdi məlumatların unikal yoxlanılması üçün mexanizm təmin etmək qabiliyyətinə görə bu problemlərin mümkün texnoloji həlli kimi təklif edilmişdir. Bu işdə biometrik texnologiyanın təklif etdiyi üstünlüklərin və çatışmazlıqların təhlili təqdim olunur. Bu texnologiya və daha ənənəvi identifikasiya üsulları arasında müqayisə tibbi informasiya sistemlərində biometrik istifadənin əsas üstünlüklərini və çatışmazlıqlarını müəyyən etmək üçün istifadə olunur [8].

Məqalə [9]-də sertifikatlaşdırılmış proqram funksiyalarına diqqət yetirməklə Braziliyada səhiyyə xidmətlərini idarə etmək üçün rəqəmsal həllər nəzərdən keçirilir. O, səmərəliliyin və xəstəyə qulluğun yaxşılaşdırılması üçün vacib olan müxtəlif funksiyaların integrasiyasını ortaya qoyur.

Bu tədqiqat işində təcili yardım şöbələrində sıxlıq problemini nəzərdən keçirir və xəstələrə qulluq səviyyəsini yaxşılaşdırmaq üçün süni intellektə əsaslanan müdaxilələrin potensialını araşdırır. Bu problemlərin həlli üçün süni intellekt əsaslı həllər təklif edilir. Tələbin proqnozlaşdırılması modelləri xəstənin gəlişi zamanı resursların paylanmasını optimallaşdırmağa bilər. Bundan əlavə, Sİ əsaslı mətnin tanınması və məlumatların idarə edilməsi xəstələrin monitorinqini optimallaşdırmağa bilər [10].

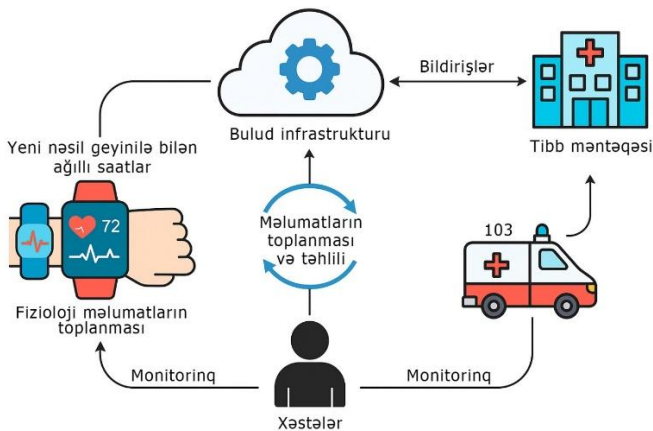
III. RƏQƏMSAL TİBB 4.0 VƏ YENİ NƏSİL DAŞINAN CİHAZLARIN TƏCİLİ TİBBİ XİDMƏTLƏRƏ TƏSİRİ METODOLOGİYASI

- *Xəstələrin həyatı əlamətlərinin davamlı monitorinqi.* Portativ cihazlardan istifadə etməklə xəstələrin həyatı əlamətlərinin davamlı monitorinqi sağlamlıq vəziyyətinin real vaxt rejimində monitorinqinə, fəvqəladə hallara daha sürətli reaksiya verməyə və diaqnostik dəqiqliyi yüksəltməyə imkan verir.
- *Sİ alqoritmləri əsasında həyat göstəricilərinin normativ və kritik səviyyələrinin avtomatik aşkarlanması.* Normativ və kritik səviyyələrinin Sİ alqoritmləri əsasında kritik şərtlərin avtomatik aşkarlanması rəqəmsal tibb 4.0 və yeni nəsil portativ cihazların təcili tibbi yardıma təsirinin qiymətləndirilməsi metodologiyasının mərkəzi prinsiplərindən biridir. Bu prinsip potensial həyat üçün təhlükə yarada biləcək şərtləri dərhal aşkar etmək və tibbi xidmətlərin cavabını optimallaşdırmaq məqsədi daşıyır.
- *Məlumatların email mərkəzlərinə və təcili yardım xidmətlərinə ötürülməsi.* Bu prinsip kritik anlarda səhiyyə xidmətlərinin müasir məlumatlara çıxışını təmin etməklə təcili yardımın göstərilməsində gecikmələri minimuma endirməyə kömək edir.
- *Xəstənin vəziyyətinə və yerindən asılı olaraq fərdiləşdirilmiş marşrutun seçilməsi.* Bu prinsip xəstələri ən qısa müddətdə ən uyğun müalicəni alacaqları yərə yönəltməklə, təcili tibbi yardım resurslarından ən səmərəli istifadə etməyə imkan verir.

Rəqəmsal tibb 4.0 səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini artırmaq üçün qabaqcıl texnologiyaların integrasiyasına imkan

yaradır. TTY xidmətlərində yeni nəsil daşınan cihazların təcili tibbi xidmətlərə tətbiqi fiziki həkim müdaxiləsi olmadan xəstələrin monitorinqi, məlumatların emalı və xəstəliklərin proqnozlaşdırılmasına qədər bir çox mərhələdə istifadə etməyə imkan verir. Bu irəliləyiş yalnız məsafədən tibb, əşyaların interneti, süni intellekt, tətbiqi və sair kimi qabaqcıl texnologiyaların səhiyyə sistemləri ilə integrasiyası sayəsində mümkün olmuşdur[11].

Yeni nəsil daşınan cihazların təcili tibbi xidmətlərə təsiri metodologiyası şəkil 1-də təqdim olunub. Burada cihazlardan fəvqəladə hallara cavab vermək üçün məlumatların addım-addım işlənməsini göstərilir. İlk olaraq, smart saatlar və yaxud biosensörə mobil proqramda təhlil edilən həyati əlamətləri qeyd edir. Daha sonra məlumatlar dərin təhlil üçün bulud platformasına verilir və həkimlərin qərar qəbul etdiyi monitorinq mərkəzinə ötürülür. Həyat üçün təhlükəli vəziyyət yarandıqda, məlumat təcili yardım xidmətlərinə göndərilir və xəstənin kritik vəziyyətinə tez reaksiya verməyə imkan verir.



Şəkil 1. Yeni nəsil daşınan cihazların təcili tibbi xidmətlərə təsiri metodologiyası.

Bu texnologiyaların TTY sisteminə tətbiqi bir sıra mühüm imkanlar yaradır. Fasiləsiz monitorinq, kritik vəziyyətlərin avtomatik aşkarlanması, məlumatların anı ötürülməsi və fərdiləşdirilmiş zənglərin marşrutlaşdırılması prinsiplərinə əsaslanan təcili tibbi yardımda rəqəmsal tibb 4.0 texnologiyalarının və yeni nəsil portativ cihazların tətbiqi səhiyyə sistemini transformasiya edən bir sıra mühüm imkanlar yaradır [12.]:

- **Çağırışa gəlmə vaxtının sürətləndirilməsi:** GPS və IoT sistemləri xəstənin yerini daha dəqiq müəyyənləşdirmək və çağırışa gəlmə vaxtını azaltmaqla TYX briqadalarının optimal marşrut sxemini təmin edə bilər.
- **Təkmilləşdirilmiş diaqnostik dəqiqlik:** Məlumatların təhlili üçün süni intellektdən istifadə komanda gələnə qədər xəstənin vəziyyətini daha tez və dəqiq müəyyən etməyə kömək edə bilər ki, nəticədə ilkin müalicəyə yerində başlamağa imkan yaranar.
- **Qərar qəbulu:** Real vaxt rejimində məsafədən tibbin tətbiqi ilə həkimlərlə məsləhətləşmələri təşkil etmək olar. Nəticədə TYX briqadalarını dəyərli məlumat və tövsiyələrlə təmin etmək olar.

- **Fərdi müalicə:** Xəstə məlumatlarının təhlili daha fərdiləşdirilmiş və effektiv yardım göstərməyə kömək edə bilər.
- **Resursların optimallaşdırılması:** Böyük məlumatların təhlili TYX sistemindəki yükü proqnozlaşdırmağa, resursların (komandalar, avadanlıqlar, dərmanlar) bölüşdürülməsini optimallaşdırmağa və ümumi əməliyyat səmərəliliyini artırmağa kömək edə bilər.
- **Təkmilləşdirilmiş kommunikasiya:** Rəqəmsal platformalar idarəetmə mərkəzləri, TYX qrupları, xəstəxanalar və digər səhiyyə müəssisələri arasında daha effektiv əlaqə təmin edə bilər.

Rəqəmsal tibb 4.0 texnologiyalarının və portativ cihazların istifadəsi kritik vəziyyətlərin erkən aşkarlanması, təcili yardım xidmətlərinin optimallaşdırılması, tibbi xidmətin əlçatanlığının və keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması, səhiyyə xərclərinin azaldılması üçün imkanlar yaradır. Bu texnologiyalar təkcə klinik nəticələri yaxşılaşdırmır, həm də regionlar və şəhərlər arasında insanların həyatını xilas etmək üçün bərabər imkanlar təmin etməklə sosial ədaləti təşviq edir. Onların potensialını reallaşdırmaq üçün geniş əlçatanlığı və təhlükəsizliyi təmin etməklə yanaşı, texniki, iqtisadi və etik maneələri dəf etməyə də kömək edir.

IV. ÇAĞIRIŞLAR VƏ PERSPEKTİVLƏR

Əhəmiyyətli üstünlüklərə baxmayaraq, TYX-lərində rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi müəyyən çətinliklərlə qarşılaşır [13].

- **İnfrastruktur məhdudiyyətləri:** Etibarlı və yüksək sürətli internet infrastrukturunun, xüsusən də ucqar dağlıq ərazilərdə inkişaf etdirilməsinə ehtiyac olması.
- **Kibertəhlükəsizlik:** Həssas tibbi məlumatların kibernetik təhlükələrdən qorunma məsələləri.
- **Sistemlərin İntegrasiyası:** Müxtəlif rəqəmsal platformalar və cihazlar arasında uyğunluq və qarşılıqlı fəaliyyətin təmin edilməsi.
- **Kadr hazırlığı:** Tibb işçilərinin yeni texnologiyalarla işləmək üçün xüsusi bacarıqlara yiyələnmək ehtiyacı.
- **Etik məsələlər:** Məlumatların məxfiliyi, süni intellektə əsaslanan qərarların qəbulu üçün cavabdehlik və əhalinin bütün təbəqələri üçün rəqəmsal əlçatanlığın təmin edilməsi məsələləri.

Bu çətinliklərə baxmayaraq, rəqəmsal tibb 4.0 mühitində təcili tibbi yardım xidmətinin inkişaf perspektivləri yüksəkdir. Süni intellekt, IoT, bulud hesablamaların tətbiqi daha səmərəli təcili tibbi yardım sistemlərinə yaratmağa imkan verəcək. Bu, xəstəliyin nəticələrinin yaxşılaşmasına, ölüm hallarının azalmasına və xəstələrin həyat keyfiyyətinin yaxşılaşmasına səbəb olacaq.

V. NƏTİCƏ

Rəqəmsal tibb 4.0 təcili tibbi yardım sisteminin inkişafı üçün yeni üfqlər açır. Qabaqcıl rəqəmsal texnologiyaların integrasiyası bizə cavab sürətini, diaqnostik dəqiqliyi, müalicənin effektivliyini artırmağa və resurslardan istifadəni optimallaşdırmağa imkan verir. Yeni nəsil daşınan cihazlar artıq təcili tibbi yardım sisteminin mühüm hissəsinə çevrilir. Onların integrasiyası diaqnostikanın effektivliyini artırmağa, cavab vaxtlarını minimuma endirməyə və potensial olaraq bir

çox insanın həyatını xilas etməyə imkan verir. Təcili tibbi yardımda rəqəmsal həllərin tətbiqi əhaliyə daha keyfiyyətli və daha əlçatan təcili tibbi yardımın təmin edilməsində əsas amildir. Təcili tibbi yardım sahəsində rəqəmsal tibb 4.0 potensialını uğurla reallaşdırmaq üçün standartlaşdırma, normativ-hüquqi bazanın işlənilib hazırlanması və geniş miqyaslı praktikada tətbiqi zəruridir.

İSTİNADLAR

- [1] R. Alguliyev, Y. Imamverdiyev, L. Sukhostat. Cyber-physical systems and their security issues, *Comput Ind*, 100 (2018), pp. 212-223
- [2] Rasim M. Alguliyev, Rasim Sh. Mahmudov. The Internet of Things: essence, potentials and problems // *Problems of Information Society*, №2(4), 2011, 29-40
- [3] Smith, J. A., & Johnson, B. R. (2020). "Integration of Geospatial Data in Emergency Medical Services: A Review." *Journal of Health Geography*, 25(3), 345-362.
- [4] B. M. Farmer (2016). "Patient Safety in the EmergencyDepartment," *Emergency Medicine*, 48(9), 397-404.
- [5] G. Erdoan, E. Erkut, A. Ingolfsson, and G. Laporte (2010). "Scheduling ambulance crews for maximum coverage," *Journal of the Operational Research Society*, 61, 543-550.
- [6] A. Ingolfsson, S. Budge, and E. Erkut (2008). "Optimal ambulance location with random delays and travel times," *Health Care Management Science*, vol. 11, no. 3, pp. 262-274,. <http://dx.doi.org/10.1007/s10729-007-9048-1>
- [7] Mitchell M, Kan L. Digital Technology and the Future of Health Systems. *Health Syst Reform*. 2019;5(2):113-120. doi: 10.1080/23288604.2019.1583040. Epub 2019 Mar 25. PMID: 30908111.
- [8] Flores Zuniga, A.E., Win, K.T. & Susilo, W. Biometrics for Electronic Health Records. *J Med Syst* 34, 975-983 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9313-6>
- [9] Bellei EA, Domenighi PR, Freitas CMDS, De Marchi ACB Digital Solutions for Health Services and Systems Management: Narrative Review of Certified Software Features in the Brazilian Market *JMIR Med Inform* 2024;12:e65281 doi: 10.2196/65281
- [10] Born, Cornelius & Wildmoser, Julian & Schwarz, Romy & Böttcher, Timo & Hein, Andreas & Krcmar, Helmut. (2024). Identifying potentials for Artificial Intelligence-based process support along the emergency department care pathway to alleviate overcrowding. *Procedia Computer Science*. 239. 1705-1712. 10.1016/j.procs.2024.06.348.
- [11] Krishnamoorthy, S., Dua, A. & Gupta, S. Role of emerging technologies in future IoT-driven Healthcare 4.0 technologies: a survey, current challenges and future directions. *J Ambient Intell Human Comput* 14, 361-407 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03302-w>
- [12] Hampiholi, Narayan. (2024). Elevating Emergency Healthcare - Technological Advancements and Challenges in Smart Ambulance Systems and Advanced Monitoring and Diagnostic Tools. 10.14445/22312803/IJCTT-V72I1P112.
- [13] Reddy MC, Paul SA, Abraham J, McNeese M, DeFlitch C, Yen J. Challenges to effective crisis management: using information and communication technologies to coordinate emergency medical services and emergency department teams. *Int J Med Inform*. 2009 Apr;78(4):259-69. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2008.08.003. Epub 2008 Oct 2. PMID: 18835211.

Tibbi Təsvirlər Əsasında Xəstəliklərin Proqnozlaşdırılması üçün Dərin Təlim Metodları

Filman Sadıqov

ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
sadigovfilman@gmail.com

Xülasə — Tibbi görüntülmə xəstəliklərin erkən aşkarlanması və diaqnostikasında mühüm əhəmiyyət daşıyır. Dərin öyrənmənin inkişafı nəticəsində 2D və 3D görüntüləri yüksək dəqiqliklə analiz edən modellər yaradılmışdır. Bu məqalədə rentgen, kompüter tomoqrafiyası, maqnit-rezonans tomoqrafiyası, ultrasəs və digər modallarda istifadə olunan metodlar, lezyon aşkarlanması, təsnifat və seqmentasiya üçün tətbiq olunan dərin öyrənmə arxitekturaları araşdırılır. Modellər tez-tez ekspert səviyyəsində nəticələr göstərir. Eyni zamanda, məlumat azlığı və izah edilə bilməlik kimi problemlər qeyd olunur. Gələcəkdə izah edilə bilən süni intellekt və multimodal integrasiyanın mühüm rol oynayacağı əsaslandırılır.

Açar sözlər — dərin öyrənmə, tibbi görüntülmə, xəstəliklərin proqnozlaşdırılması, süni intellekt, təsvirlərin analizi, seqmentasiya.

I. GİRİŞ

Tibbi görüntülmə müasir səhiyyədə əvəzolunmaz bir alətə çevrilmişdir. Bu texnologiya daxili orqanların invaziv olmayan üsullarla vizualizasiyasını təmin edərək diaqnostika və müalicə planlaşdırılmasında mühüm rol oynayır. Tibbi görüntülmə məlumatlarının həcmi sürətlə artır — məsələn, Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) məlumatına görə, hər il dünyada təxminən 3.6 milyard diaqnostik görüntülmə müayinəsi aparılır [1]. Bura rentgen, ultrasəs, kompüter tomoqrafiyası (KT), maqnit-rezonans tomoqrafiyası (MRT), pozitron emissiya tomoqrafiyası (PET) və digər görüntülmə modalları daxildir. Bu modalların hər biri müxtəlif patologiyalar haqqında unikal məlumatlar təqdim edir. Lakin bu qədər çox sayda görüntünün təhlili çox çətin bir vəzifədir və bir çox bölgələrdə ixtisaslı radioloq və görüntü təhlilçilərinin çatışmazlığı sənədləşdirilmiş reallıqdır. Bu vəziyyət həkimlərə tibbi görüntüləri səmərəli və dəqiq şəkildə analiz etməyə kömək edə biləcək avtomatlaşdırılmış xəstəlik proqnozlaşdırma modellərinin inkişafını stimullaşdırmışdır. Süni intellekt (Sİ), xüsusilə də dərin öyrənmə sahəsindəki nailiyyətlər son onillikdə tibbi görüntülərin analizi sahəsində əsl inqilab yaratmışdır. Əvvəllər istifadə olunan və əl ilə yaradılan xüsusiyyətlərə əsaslanan kompüter dəstəklili diaqnostika sistemlərindən fərqli olaraq, dərin öyrənmə alqoritmləri geniş miqyaslı görüntü kolleksiyalarından mürəkkəb xüsusiyyətləri avtomatik şəkildə öyrənə bilir. Bu qabiliyyət, bir çox hallarda insan mütəxəssislərin nəticələrini bərabərliklə və ya daha yüksək səviyyədə təkrarlamaq üçün “hesablama radiologiyası” sistemlərinin inkişafına səbəb olmuşdur [2]. Dərin konvolusion neyron şəbəkələri (ing. convolutional neural network (CNN)) və onların variantları görüntüyə əsaslanan xəstəlik aşkarlanması üçün ən müasir modellərin əsasını təşkil edir. Bu modellər orqanların

seqmentasiyası, şişlərin aşkarlanması, patoloji təsnifat və digər sahələrdə əla nəticələr göstərmişdir [2]. Bəzi sahələrdə Sİ modelləri artıq həkim səviyyəsində dəqiqliyə yaxınlaşır — məsələn, fundus şəkillərindən diabetik retinopatiyanın aşkarlanması və ya dermoskopik görüntülərdən dəri lezyonlarının təsnifatı kimi vəzifələrdə. Bütün bu uğurlara baxmayaraq, tibbi görüntülərə əsaslanan dayanıqlı xəstəlik proqnozlaşdırma metodlarının hazırlanması hələ də ciddi çətinliklərlə müşayiət olunur. Tibbi görüntülər adətən yüksək ölçülü və heterogen olur (məsələn, 2D boz tonlu rentgen şəkilləri ilə 3D multimodal MRT taramaları arasındakı fərqlər), və mütəxəssis tərəfindən etiketlenməsi vaxt aparan bir proses olduğu üçün anotasiya edilmiş məlumatlar məhdud ola bilər. Bundan əlavə, modellər müxtəlif pasiyent qrupları və görüntülmə cihazları üzrə ümumiləşmə və etibarlılıq baxımından ciddi şəkildə yoxlanmalıdır. Eyni zamanda, bu modellərin izah edilə bilməsi və klinik iş axınına integrasiyası kimi məsələlər də geniş təbiiqdən əvvəl həllini tapmalıdır.

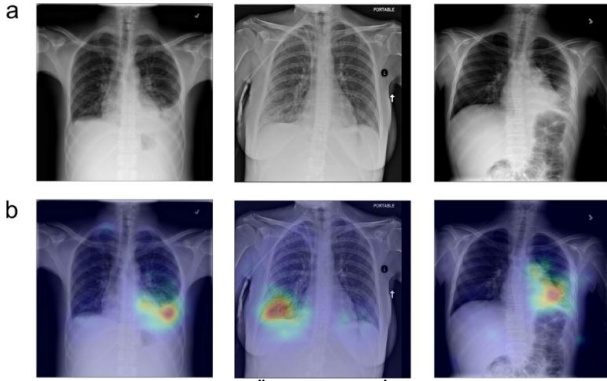
Bu məqalə, xəstəliklərin proqnozlaşdırılması modellərinin müxtəlif xəstəliklər və görüntülmə modalları üzrə inkişafına dair icmal təqdim edir. Burada həm 2D görüntülmə (məsələn, rentgen və ultrasəs) həm də 3D görüntülmə (məsələn, KT, MRT və PET) texnologiyalarına əsaslanan yanaşmalar əhatə olunur. Məqalədə bu görüntülərin pnevmoniya və sınıq kimi ümumi hallar üçün istifadəsindən tutmuş, beyin şişləri və histopatoloji slaydlarda metastazların aşkarlanması kimi daha mürəkkəb diaqnozlara qədər necə istifadə edildiyi ədəbiyyat əsasında ümumiləşdirilir. Fokus əsasən nəzəri və metodoloji aspektlər üzərində qurulmuşdur — burada yeni eksperimental nəticələr təqdim edilmir, əvəzində mövcud modellər və metodlar araşdırılır və müzakirə görüntülmə modalları üzrə strukturlaşdırılır. Növbəti bölmələrdə hər bir görüntülmə növü üzrə müasir modellərin ədəbiyyat icmal təqdim edilir, belə modellərin hazırlanması və qiymətləndirilməsi üçün ümumi metodoloji elementləri təsvir edilir, bu yanaşmaların tətbiqi ilə əldə edilən nəticələrin həm insan-mütəxəssislərlə müqayisəli performansını, həm də sahədə hələ də mövcud olan çətinliklər ümumiləşdirilir.

II. ƏDƏBİYYATIN İCMALI

A. Radiografiyada (Rentgen şəkillərində) Tibbi Görüntülərin Analizi

Şəkil 1-də sətəlcəmli pasiyentlərin döş qəfəsi rentgen görüntüləri və CNN modelinin diqqət xəritələri göstərilir. Burada model sətəlcəmi aşkar etmək üçün öyrədilmiş və proqnoza təsir edən ağciyər sahələrini istilik xəritəsi ilə vizualizə etmişdir [3]. Dərin öyrənmə rentgen görüntüləri,

xüsusilə döş qəfəsi rentgenləri üzərində geniş tətbiq tapmışdır. Stanford-un CheXNet modeli sələcəmi yüksək dəqiqliklə aşkarlamış və radioloqlarla müqayisə edilə biləcək nəticələr göstərmişdir [3].

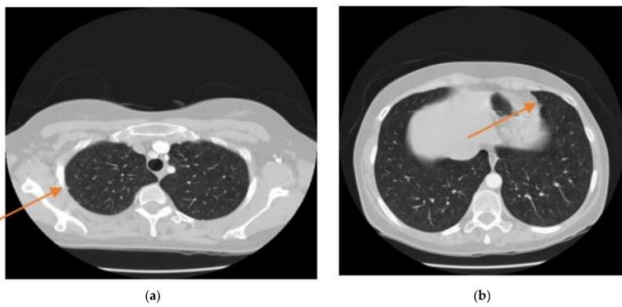


Şəkil 1. Sələcəm Üçün Rentgen İstilik Xəritələri

Daha sonra NIH ChestX-ray8 və CheXpert kimi məlumat bazaları modellərin digər patologiyalara da tətbiqini mümkün etmişdir (düyünlər, plevral efüziya, kardiomeqaliya və s.). Bu modellər 71–75% dəqiqliklə işləyərək bəzi hallarda az təcrübəli həkimləri üstələmişdir. AI sistemləri incə patologiyaları aşkar etməklə ikinci oxuyucu kimi çıxış edə bilər. Saliency map-lər kimi izah edilə bilən yanaşmalar həkim etibarını artırır. Rentgen üzərində CNN-lər yalnız ağciyər xəstəlikləri deyil, sınıq, mamografiya lezyon və implant aşkarlanmasında da istifadə olunur. Bu, radioqrafiyanı AI əsaslı proqnozlaşdırma üçün ən əlverişli sahələrdən birinə çevirir.

B. Xəstəliklərin Proqnozlaşdırılması Üçün Kompüter Tomografiyası (KT)

Şəkil 2-dəki KT skanları ağciyər divarına bitişik düyünləri (mümkün erkən mərhələli şişlər) nümayiş etdirir. Bu düyünlərin plevra səthinə yaxın yerləşməsi həm insanlar, həm də alqoritmlər üçün ağciyər sərhədlərinin müəyyənəndirilməsini çətinləşdirir [4].



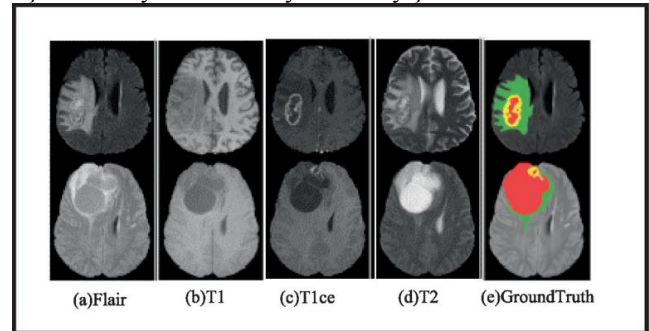
Şəkil 2. KT skanlarında ağciyər düyünlərinin plevra səthinə bitişməsi

Kompüter tomoqrafiyası (KT) yüksək ayırdetməli anatomik görüntülər təqdim edərək xərcəng və digər daxili patologiyaların aşkarlanmasında effektiv vasitədir. KT-nin detallı təsvir imkanları sayəsində dərin öyrənmə modelləri ağciyər düyünlərinin aşkarlanması və xarakterizasiyası üçün uğurla tətbiq olunur. LUNA16 və LIDC-IDRI məlumat bazalarına əsaslanan 3D CNN və 2D/3D hibrid modellər 90%-dən yüksək həssaslığa nail olmuş, yalan müsbətlərin sayını isə minimuma endirmişdir [4]. Bu yanaşmalar "radiomika" və ya "dərin radiomika" adlanır və düyünlərin xassələrini

qiymətləndirərək xəstəliyin gedişatını proqnozlaşdırma bilər. KT-yə əsaslanan süni intellekt modelləri yalnız ağciyər xərcəngi deyil, həm də qaraciyər şişləri, yoğun bağırsaq xərcəngi və ürək-damar patologiyalarında tətbiq olunur. Məsələn, AI modelləri KT görüntülərində bağırsaq divarının qalınlaşmasını və limfa düyünlərini təhlil edərək malignliyi erkən aşkar edə bilər. Ürək KT-də isə lövhəciklərin və kalsifikasiya nümunələrinin təhlili ilə risk proqnozlaşdırması aparılır. KT analizində əsas texniki çətinlik 3D məlumatların həcmli əlaqəlidir. Bunun üçün "patch-based" yanaşmalar və ResBCDU-Net kimi xüsusi modellərdən istifadə olunur [4]. Bu modellər seqmentasiya dəqiqliyini artıraraq, xüsusilə periferik lezyonların gözdən qaçmamasını təmin edir. Nəticə etibarilə, KT-də dərin öyrənmə modelləri aşkarlama, seqmentasiya və xəstəlik proqnozlaşdırılmasında mühüm nailiyyətlər əldə etmişdir. Bəzi alqoritmlər artıq tənzimləyici təsdiqlər də almışdır və bu sahədə irəliləyişlər davam edir.

C. Maqnit-Rezonans Tomografiyası (MRT) və 3D Görüntülmə Modalları

Şəkil 3-də BraTS məlumat bazasına əsaslanan beyin MRT dilimləri və müxtəlif modallarda (T1, T1c, T2, FLAIR) çəkilmiş görüntülər, eləcə də neyro-radioloq tərəfindən aparılmış "ground-truth" şiş seqmentasiyası göstərilir. Seqmentasiya maskaları yaşıl (ödem), qırmızı (kontrastsız nüvə) və sarı (kontrastlı nüvə) rənglərlə kodlaşdırılmışdır [5]. Bu nümunə fərqli kontrastların şişin xüsusiyyətlərini necə vurğuladığını və CNN modellərinin avtomatik seqmentasiya üçün necə öyrədilə biləcəyini nümayiş etdirir.



Şəkil 3. Şişin müxtəlif MRT modallarında seqmentasiyası və anotasiya nümunələri

MRT yüksək yumşaq toxuma kontrastı təqdim edən və beyin şişləri, Alzheimer xəstəliyi və diz-oynaq zədələrinin diaqnostikasında geniş istifadə olunan 3D görüntülmə üsuludur. BraTS yarışmaları bu sahədə 3D U-Net kimi modellərin inkişafını stimullaşdırmış, qabaqcıl modellər 0.90 Dice oxşarlıq əmsali ilə radioloq səviyyəsində nəticələr əldə etmişdir. Bu modellər çoxmodallı MRT ardıcılıqlarını istifadə edərək voxel səviyyəsində ödem və digər komponentləri seqmentasiya edir. 2020-ci ildə aparılmış bir tədqiqatda AI tərəfindən aparılmış avtomatik ölçmələr radioloq nəticələri ilə uyğun gəlmiş və sağqalma ehtimalını da proqnozlaşdırma bilmişdir [5]. Neyrodegenerativ xəstəliklərin diaqnostikasında MRT əsaslı modellər Alzheimer xəstəliyini yüksək dəqiqliklə (90%-dən yuxarı) proqnozlaşdırma bilər və hipokamp atrofiyası, beyin mədəciklərinin genişlənməsi kimi biomarkerləri təyin edir [5]. Əzələ-oynaq sahəsində CNN modelləri diz və onurğa

MRT-lərində zədələri aşkarlamaqda radioloqlarla müqayisə edilə biləcək dəqiqlik göstərmiş və analiz müddətini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmışdır. Son dövrlərdə transformer əsaslı modellər də MRT analizində tətbiq edilməyə başlanılıb. Bu modellər 3D həcməldə uzunməsafəli məkan əlaqələrini daha yaxşı əhatə edə bilər. Lakin MRT və PET kimi 3D görüntülər yüksək hesablama resursları və yaddaş tələb etdiyindən, bu sahədə optimallaşdırılmış texnikalara ehtiyac yaranır:

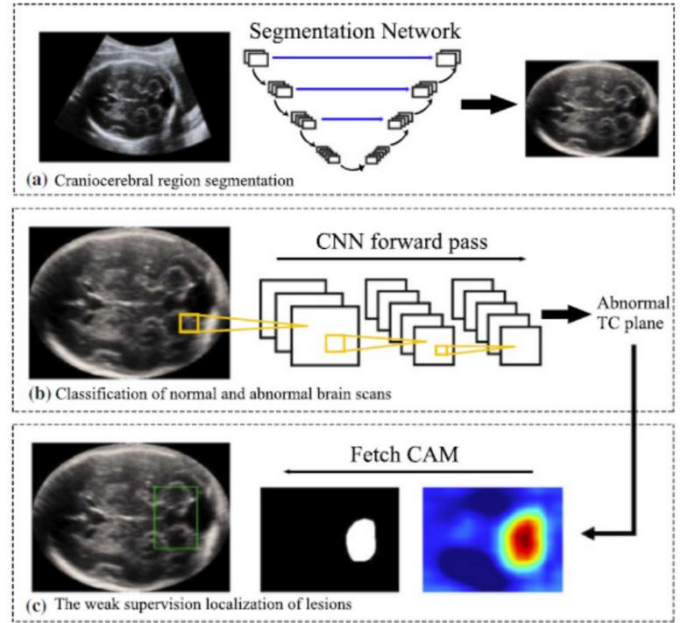
- həcmi hissə-hissə təhlil etmək (Slab-based processing)
- Model sıxlaşdırması (compression)
- Transfer öyrənmə (2D-dən 3D-yə və ya 3D təbii görüntülərdən öyrənmə) kimi yanaşmalar bu çətinlikləri azaltmaq üçün tətbiq olunur.

Ümumilikdə, MRT-ə əsaslanan xəstəlik proqnozlaşdırma modelləri sürətlə inkişaf edir. Bəzi modellər artıq klinik sınaqlara daxil edilmişdir — məsələn, süni intellektlə idarə olunan MRT analizləri vasitəsilə hansı pasiyentlərin qabaqcıl müalicələrə yönləndirilməli olduğunu müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunur. Açıq məlumat bazalarının və beynəlxalq yarışların artması ilə daha dəqiq və ümumiləşdirilə bilən MRT analiz modellərinin yaxın gələcəkdə ortaya çıxacağı gözlənilir.

D. Ultrasəs Görüntülmə və Xəstəliklərin Proqnozlaşdırılması

Ultrasəs – real vaxt rejimində görüntülmə təmin edən, doğuşayardım, ürək ekoqrafiyası, qarın orqanlarının müayinəsi kimi bir çox sahədə geniş istifadə olunan görüntülmə üsuludur. Bu görüntülər adətən səs-küylü və operatora bağlı olur ki, bu da tarixən avtomatlaşdırmanı çətinləşdirib. Buna baxmayaraq, dərin öyrənmə ultrasəs analizində də irəliləyişlərə səbəb olmuşdur. Xüsusilə uğurlu tətbiqlərdən biri doğuşayardım ultrasəsdir. CNN modelləri döl başının ultrasəs görüntülərində düzgün kəsik müstəvisini tanıyaraq baş çevrəsi kimi biometriya göstəricilərini avtomatik hesablaya bilər. Lee və əməkdaşlarının tədqiqatında model bu tapşırığı yüksək dəqiqliklə yerinə yetirmişdir [6]. Şəkil 4-də baş segmentasiyası, ventrikulomeqaliya aşkarlanması və CAM istilik xəritəsi ilə lokalizasiya nümunələri göstərilmişdir. CNN-lər ekokardioqrafiyada da tətbiq olunur — sol mədəcikin segmentasiyası və ejeksiya fraksiyasının avtomatik hesablanması ilə ürək funksiyası 5%-dən az səhvlə qiymətləndirilə bilər. Damar ultrasəsində karotis lövhəciklərinin aşkarlanması və intima-media qalınlığının ölçülməsi üçün də istifadə olunur. Ultrasəs görüntülərindəki spekl səs-küyü və dəyişkənlik modelləşməni çətinləşdirir. Bu problemlərin öhdəsindən gəlmək üçün məlumat artırılması (səs-küy və bucaq dəyişmələri) və optik axın kimi xüsusi arxitekturalar tətbiq edilir. Ultrasəs operatora bağlı üsul olduğu üçün Sİ burada böyük potensiala malikdir. Bələdçi sistemlər təcrübəsiz istifadəçilərə probu düzgün yerləşdirmək və görüntünü şərh etməkdə real vaxt dəstəyi təqdim edə bilər. Bu yanaşma ultrasəs mütəxəssislərinin bacarığını daha geniş auditoriyaya çatdırmağa imkan verir. Aktiv tədqiqat mövzusu olaraq, Sİ-nin ultrasəs əsaslı diaqnostikada dəqiqliyi artıracağı

və bu texnologiyayı ilkin tibbi yardım səviyyəsində daha güclü vasitəyə çevirəcəyi gözlənilir.

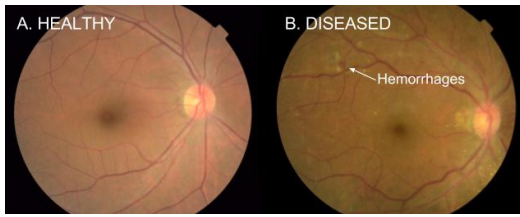


- Şəkil 4. Dərin öyrənmənin doğuşayardım ultrasəsində döl beyinin qiymətləndirilməsinə tətbiqi nümunələri
- (a) Ultrasəs görüntüsündə döl başının segmentasiyası: U-Net konvolusion neyron şəbəkəsi (CNN) ultrasəs müstəvisində kranio-serebral (baş) bölgəsini avtomatik olaraq müəyyənləşdirir.
- (b) Normal və anormal döl beyin görüntülərinin təsnifatı: CNN ultrasəs görüntüsünü emal edir və anormal trans-serebellar (TC) müstəvidə narahatedici sahəni (sarı çərçivə ilə) göstərir.
- (c) Zəif nəzarət olunan zədələnmə lokalizasiyası: sinif aktivləşmə xəritələşdirməsindən (CAM) istifadə etməklə model, təlim zamanı piksel səviyyəli maska olmadan potensial beyin anomaliyasına uyğun gələn sahəni (yaşıl çərçivə və istilik xəritəsi) vurğulayır.

E. Oftalmologiya: Torlu Qişa (Retina) Fundus Görüntülmə

Oftalmologiya – Sİ əsaslı görüntü analizinin geniş tətbiq tapdığı ilk tibbi sahələrdən biri olmuşdur. Dərin öyrənmə alqoritmləri bu cür xəstəlik əlamətlərini çox yüksək dəqiqliklə ayırd edə bilər [7]. Şəkil 5-dəki kimi torlu qişanın (retinanın) yüksək ayırdetməli 2D fundus şəkilləri diabet xəstələrində diabetik retinopatiya (DR) üçün skrining məqsədilə mütəmadi olaraq çəkilir. DR görmə itkisinə səbəb olan əsas xəstəliklərdən biridir. 2016-cı ildə dərc edilmiş dönüş nöqtəsi sayılan bir tədqiqatda DR-nin aşkarlanması üçün dərin öyrənməyə əsaslanan alqoritm hazırlamış və bu model ROC əyrisinin altında sahə (AUC) üzrə təxminən 0.99, həmçinin 90%-dən yuxarı həssaslıq və spesifiklik əldə etmişdir [8]. Bu nəticələr ekspert-oftalmoloqlarla müqayisə edilə biləcək səviyyədə olmuş və bir neçə klinikadan toplanmış böyük məlumat bazalarında uğurla yoxlanılmışdır. Alqoritm, fundus şəkillərində mikroanevrizma, qanaxma və eksudatlar kimi xarakterik zədələnmələri aşkar etməyə yönəldilmişdir. Bu alqoritm sonradan skrining proqramlarında tətbiq olunmuş və insan-mütəxəssislər üzərindəki yüklənməni azaltmaq üçün Sİ-nin real həyat şəraitində istifadə oluna biləcəyini sübut etmişdir. Bu uğurdan sonra, digər göz xəstəliklərinin aşkarlanması üçün də oxşar dərin öyrənmə sistemləri hazırlanmışdır. Məsələn, qlaukoma: fundus

görüntülərində optik diskin çökəkliyinin (optic disc cupping) qiymətləndirilməsi ilə aşkar olunur, yaşa bağlı makulyar degenerasiya: drusen yığınlarının tanınması vasitəsilə təyin edilir.

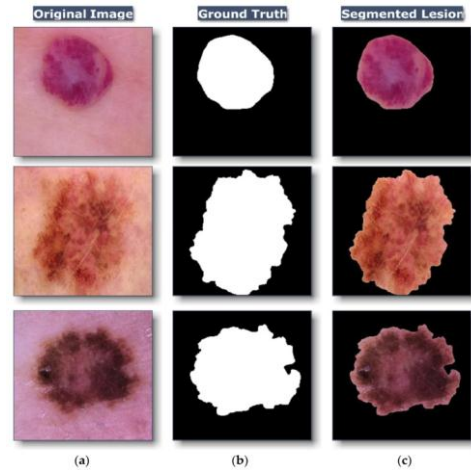


Şəkil 5. Diabetik retinopatiyanın avtomatik aşkarlanması üçün istifadə olunan torlu qışa (retina) fundus şəkilləri.
(a) — heç bir xəstəlik əlaməti olmayan sağlam retinayı göstərir.
(b) — müalicə tələb edən diabetik retinopatiya olan retinayı göstərir; burada çoxsaylı qanaxmalar (tünd qırmızı ləkələr şəklində) görünür.

Ümumilikdə, oftalmologiya Sİ-nin tibbi görüntülərlə proqnozlaşdırma ən uğurlu sahələrindən biridir və burada əldə edilən nəticələr onun dəqiq və klinik baxımdan effektiv modellər yarada bildiyini təsdiqləyir. Bu nümunələr HAM10000 məlumat bazasından götürülmüş müxtəlif dəri lezyonlarını əhatə edir. Lezyonun dəqiq segmentasiyası onun bədxassəli və ya yaxşıxassəli kimi təsnif edilməsindən əvvəl vacib mərhələ sayılır [9]. Dermatologiyada süni intellektin tətbiqi ilk yüksək effektiv nəticələrdən biri olmuşdur. 2017-ci ildə hazırlanan CNN modeli 100,000-dən çox görüntü əsasında öyrədilmiş və melanoma ilə digər lezyonlar arasında dermatoloq səviyyəsində ayırd etmə qabiliyyəti nümayiş etdirmişdir [10]. Bu uğur Sİ-nin erkən diaqnostikada, xüsusilə həkim çatışmazlığı olan ərazilərdə faydalı ola biləcəyini göstərmişdir. Sonrakı tədqiqatlar model dəqiqliyinin və izah ediləbilenliyinin artırılmasına yönəlmişdir. Proses iki əsas mərhələdən ibarətdir: lezyonun segmentasiyası (şəkil 6-da olduğu kimi, lezyon ətraf sağlam dəridən ayırd edilir); lezyonun təsnifatı. Lezyonların formasının və sərhədlərinin qeyri-müəyyənliyi segmentasiyanı çətinləşdirə bilər. Lakin U-Net və diqqət əsaslı şəbəkələr 0.9-dan yuxarı Dice əmsalları ilə dəqiq segmentasiya nəticələri əldə etmişdir [9]. Segmentasiyadan sonra ResNet və EfficientNet kimi arxitekturalar lezyonu təsnif edir, yalnız melanoma deyil, digər növləri də ayırd edə bilər (bazal hüceyrəli karsinoma, atipik nevus və s.). Meta-analizlər göstərir ki, Sİ sistemləri melanoma aşkarlanmasında 80–90% həssaslıq və spesifikasike səviyyəsinə çatır – bu, dermatoloq səviyyəsinə bərabərdir [11]. Sİ-nin sabitliyi, yəni eyni görüntüyə həmişə eyni cavabı verməsi, subyektiv diaqnostikanın əvəzinə daha standartlaşdırılmış yanaşma təklif edir. Sİ sistemləri həmçinin prioritetləşdirmə funksiyası daşıya bilər – şübhəli lezyonları erkən ayıraraq gecikmələrin qarşısını alır. Bəzi modellər görüntü ilə yanaşı yaş, lezyonun yeri kimi klinik məlumatları da daxil edərək daha kompleks qiymətləndirmə aparır. Sİ sistemlərinin istifadəsində əsas məqam, fərqli kamera, işıqlandırma şəraiti və dəri tiplərinə qarşı davamlılığın təmin olunmasıdır. Bu məqsədlə: məlumat bazalarının müxtəlifləşdirilməsi; rəng normalaşdırılması kimi metodlardan istifadə olunur. Ümumilikdə, dermatologiya sahəsində mütəxəssislər ehtiyatlı optimizmlə yanaşırlar — dəri xərçəngi skriningi üçün tənzimləyici təsdiqli Sİ alətləri yaxın gələcəkdə istifadəyə verilə bilər. Bu isə teledermatologiya və dermatoloq çatışmazlığı olan

bölgələrdə erkən aşkarlama üçün Sİ-nin dəyərli yardımçıya çevrilə biləcəyini göstərir.

F. Dermatologiya: Dəri Lezyonlarının Görüntülənməsi

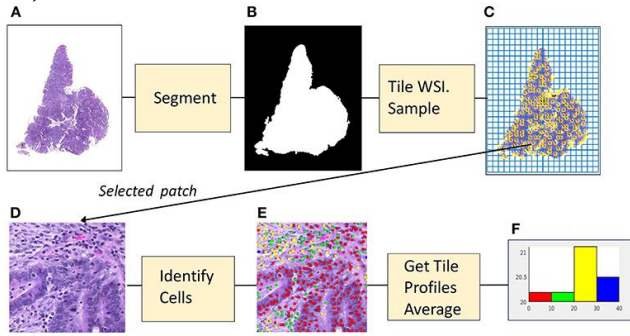


Şəkil 6: Dərin öyrənmə ilə dəridəki lezyonların avtomatlaşdırılmış analizi.
(a) dəri lezyonunun ilkin klinik və ya dermoskopik görüntüsü,
(b) lezyon sahəsinin “ground-truth” (doğru) segmentasiya maskası,
(c) CNN tərəfindən avtomatik olaraq segmentasiya edilmiş lezyon sahəsi

G. Rəqəmsal Patologiya və Histologiya Görüntüləri

Patologiya sahəsində biopsiya nümunələrinin şüşə slaydları yüksək ayırdetməli görüntülərə skan edilir, çox zaman bu görüntülər gigapiksel ölçüsünü aşır və patologlar bu slaydları xərçəngin təsdiqlənməsi, şişin dərəcələndirilməsi kimi diaqnostik məqsədlərlə araşdırırlar. Dərin öyrənmə bu tam slayd görüntülərinə (WSI – whole-slide image) tətbiq edilməklə xərçəngin aşkarlanması, alt tiplərə bölünməsi, hətta proqnozlaşdırılması kimi tapşırıqlar üzrə sürətlə inkişaf etmişdir. Bu sahədə önəmli problemlərdən biri CAMELYON16 yarışmasında təklif edilmiş limfa düyünlərində metastatik xərçəngin aşkarlanması olmuşdur. 2017-ci ildə, dərin öyrənməyə əsaslanan bir alqoritm limfa düyünlərində mikrometastazları aşkarlamaqda (məhdud zaman daxilində) insan patologlardan daha yüksək həssaslıqla çıxış etmişdir [11]. Patologlara limitsiz zaman verildikdə onların performansını alqoritmə yaxınlaşsa da, bu nəticə Sİ-nin effektivliyi və diaqnostik dəqiqliyi artırmaq potensialını nümayiş etdirmişdir. Şəkil 7 bu yanaşmanı əyani şəkildə göstərir: tam slayd görüntüləri CNN modelinə birbaşa daxil etmək üçün çox böyükdür, buna görə də onlar kiçik hissələrə (tile-lərə) bölünür; CNN və ya vision transformer kimi dərin modellər bu kiçik hissələri analiz edərək şiş toxuması olub-olmadığını müəyyən edir [13]; bütün hissələrin nəticələri birləşdirilərək slaydda şiş sahələrinin yerləri qeyd olunur, bu da ehtimallara əsaslanan istilik xəritəsi (probability heatmap) yaradır. Tədqiqatlar kiçik hissələr üzrə şiş aşkarlanmasında təxminən 0.99 AUC nəticələri əldə etdiklərini göstərmiş, bu da slayd səviyyəsində ekspertlərlə müqayisəoluna bilən diaqnostik dəqiqlik deməkdir [14]. Sİ yalnız şişlərin aşkarlanması deyil, həm də onların dərəcələndirilməsi üçün tətbiq olunur (məsələn, Gleason və Bloom-Richardson sistemləri). Dərin öyrənmə modelləri H&E slaydlardan molekulyar xüsusiyyətləri (genetik mutasiyalar, protein ifadəsi)

əlavə testlərsiz proqnozlaşdırma bilir [15]. CNN-lər hüceyrə səviyyəsində seqmentasiya apararaq immun infiltratları müəyyənləşdirir, bu isə proqnoz baxımından dəyərlidir (şəkil 7, D–E).



Şəkil 7: Rəqəmsal patologiyanın dərin öyrənmə ilə analizi üzrə iş axını, süd vəzi xərçənginin metastaz verdiyi limfa düyününə aid histolojiya görüntüsü əsasında təqdim olunur

- (a): Tam slayd histolojiya görüntüsü (WSI) — metastatik şiş sahələri bənövşəyi boyanmışdır.
 (b): Avtomatik toxuma seqmentasiyası — toxuma sahələri fon bölgələrindən ayrılır.
 (c): Slaydın parçalara bölünməsi (blue grid) və analiz üçün hissələrin seçilməsi (sarı ilə işarələnmiş).
 (d): Şiş toxuması olan bir nümunə görüntü parçası.
 (e): Sİ ilə hüceyrə aşkarlanması — hər bir hüceyrə nüvəsi tanınır və təsnif edilir (məs., qırmızı = şiş hüceyrəsi, yaşıl = limfosit).
 (f): Slayd üzrə hüceyrə tiplərinin sayına dair histogram — məsələn, şiş hüceyrələrinin sıxlığını ümumiləşdirir.

III. METODOLOGİYA

Tibbi görüntülərdən istifadə edərək xəstəliyin proqnozlaşdırılması modellərinin hazırlanması bir sıra dəqiq müəyyənləşdirilmiş metodoloji mərhələlərdən ibarətdir. Baxmayaraq ki, dəqiq addımlar görüntüləmə növünə və tətbiq sahəsinə görə dəyişə bilər, ümumi ardıcılıq adətən sabit olur:

A. Məlumatların Toplanması və Hazırlanması

Yüksək keyfiyyətli, etiketlenmiş görüntü məlumatları modelin hazırlanması üçün əsasdır. Məlumatların toplanması adətən görüntülərlə yanaşı "ground truth" etiketlərin (məsələn, diaqnoz, seqmentasiya maskaları və ya pasiyent nəticələri) də toplanmasını əhatə edir. Tibbi kontekstdə bu etiketlər ekspert rəyinə əsaslanma bilər (məs., radioloqun şiş ərazilərini işarələməsi, patologun təsdiqlədiyi diaqnozlar) və ya klinik qeydlərdən götürülə bilər (biopsiya nəticələri, xəstəlik gedişatı). Tibbi məlumatların həssaslığına görə, tədqiqatçılar məxfilik qaydalarına (məs., HIPAA) riayət etməli və adətən anonimləşdirilmiş və ya açıq məlumat bazalarından (məs., NIH Chest X-rays, BraTS, CAMELYON və s.) istifadə etməlidirlər. Əsas addımlardan biri məlumatların əvvəlcədən emalıdır – bu, görüntü parlaqlığı/kontrastının normalaşdırılması (intensity normalization), ölçülərin və ya piksellərin ölçüsünün uyğunlaşdırılması (resizing/resampling), və artefaktların silinməsi kimi prosesləri əhatə edir. Məlumatın artırılması (data augmentation) geniş istifadə olunur: döndürmə, çevirmə, ölçülərin dəyişdirilməsi, səs-küy əlavə edilməsi və elastik deformasiyalar modellərin fərqli şərait və anatomiyalara uyğunlaşmasını yaxşılaşdırır [9]. MRT və ultrasəs kimi histogram ekvallaşdırılması və ya z-score normalaşdırılması kimi texnikalar tətbiq olunur.

B. Model Arxitekturası

Model arxitekturası seçimi görüntü növü və proqnozlaşdırma tapşırığına bağlıdır. CNN xüsusiyyət iyerarxiyalarını öyrənmək qabiliyyəti sayəsində görüntü analizi üçün əsas texnologiyadır. 2D görüntülər üçün (rentgen, fotoşkillər, KT/MRT dilimləri) ResNet, VGG, Inception və DenseNet kimi klassik arxitekturalar (çox zaman ImageNet üzərində ilkin öyrədilib, sonra tibbi görüntülərə uyğunlaşdırılaraq) geniş istifadə olunur [2]. Seqmentasiya üçün encoder-decoder strukturlu CNN-lər, məsələn, U-Net və onun çoxsaylı variantları (V-Net, Attention U-Net, Residual U-Net və s.) istifadə olunur. Bu modellər görüntünü aşağı ölçülü gizli təsvirə kodlayır, sonra maska şəklində dekod edir və keçid bağlantıları (skip connections) incə detalları qoruyur [16]. 3D görüntüləmə üçün (tam KT və ya MRT həcmli) 3D konvolyusiyalar tətbiq edilir. Əgər yaddaş və məlumat kifayət deyilsə, dilim-dilim 2D analiz və ya hibrid yanaşmalar (ortoqonal müstəviləri birləşdirən) seçilir. Yeni ortaya çıxan arxitekturalara Vision Transformer-lər (ViT) və Qraf Neyron Şəbəkələri (GNN) daxildir. Bunlar daha geniş kontekstləri və hüceyrələrarası əlaqələri öyrənməkdə faydalıdır. Metodologiya tez-tez müxtəlif arxitekturaların və hiperparametr ayarlarının sınaqdan keçirilməsini, çarpaz yoxlama (cross-validation) ilə modellərin ümumiləşdirmə qabiliyyətinin qiymətləndirilməsini əhatə edir.

C. Təlim Strategiyaları

Tibbi görüntü modellərinin təlimi özünəməxsus məsələləri ehtiva edir. Sinif balanssızlığı geniş yayılmış problemdir — məsələn, yalnız az bir hissə mammoqramlarda xərçəng ehtiva edir. Bunun üçün balanslaşdırılmış mini-batch-lər, nadir siniflərin təkrar öyrədilməsi (oversampling) və ya ixtisaslaşmış itki funksiyaları (Dice loss, focal loss və s.) istifadə olunur [9]. Transfer öyrənmə də əsas strategiyadır: məhdud tibbi məlumat bazaları üçün modellər əvvəlcədən öyrədilmiş çəki dəyərləri ilə başlanır (məs., ImageNet) və sonra uyğun tibbi tapşırıq üzrə fine-tuning edilir. Təlim zamanı tətbiq olunan məlumat artırma, yalnız ümumiləşdirməni yaxşılaşdırmır, eyni zamanda overfitting problemini azaldır. Dropout və weight decay kimi regularizasiya metodları da geniş istifadə olunur. Zəif nəzarətli öyrənmə (weakly supervised learning) – tam etiketləmə olmayan hallarda — şəkil səviyyəsində etiketlərdən istifadə edərək təsnifat modeli qurulur, daha sonra Class Activation Mapping (CAM) vasitəsilə lokalizasiya əldə edilir (məs., ultrasəs nümunəsində — Şəkil 4) [9]. Çoxtapşırıqlı öyrənmə (multi-task learning) də istifadə olunur — məsələn, bir model həm təsnifat, həm seqmentasiya və ya bir neçə xəstəlik etiketini eyni anda proqnozlaşdırma bilər.

D. Doğrulama və Test

Tibbi AI modelləri üçün dəqiq qiymətləndirmə vacibdir. Adətən məlumatlar təlim, doğrulama və test dəstlərinə bölünür (pasiyent əsaslı bölünmə ilə — eyni pasiyentin görüntüləri həm təlim, həm testdə olmamalıdır). Tapşırıqə uyğun performans göstəriciləri:

- Təsnifat üçün: dəqiqlik, həssaslıq (recall), spesifiklik, dəqiqlik (precision), ROC AUC;
- Seqmentasiya üçün: Dice əmsalı, Jaccard indeksi, piksel əsaslı həssaslıq və dəqiqlik;

• Aşkarlama (lokalizasiya) üçün: Intersection over Union (IoU), mean average precision.

Tibbi kontekstdə həssaslığa üstünlük verilir (çünki xəstəliyi qaçırmmaq yalan siqnalda daha təhlükəlidir). Modellər tez-tez mütəxəssislərlə müqayisə edilir, statistik testlər və bootstrap analizləri nəticə fərqlərinin əhəmiyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur [3]. Çarpaz yoxlama məlumat azlığında geniş tətbiq olunur. Modellər xarici məlumatlarda (external validation) da test edilməlidir – bu, fərqli klinika və ya ölkələrdən olan məlumatlarda modelin ümumiləşmə qabiliyyətini göstərir. Bu testlər zamanı performansın düşməsi domain adaptation və stil ötürülməsi kimi texnikaları zəruri edir.

E. Modelin Şərhi

Tibbdə izah edilə bilən Sİ-yə olan ehtiyacdan dolayı, metodologiyaya şərhədi texnikalar daxil edilir. Məsələn:

- Saliency map-lər (Grad-CAM və s.) görüntü üzərində vacib sahələri göstərir;
- Occlusion testi (görüntünün hissələrinin gizlədilməsi ilə təsirin ölçülməsi);
- Kliniki anlayış vektorları (məs., həkimə önəmli olan strukturların modeldə hansı təsiri var?).

Bəzi hallarda model şəkildəki qeyri-səhiyyə elementlərini (məs., xəstə ID-si, xəstəxana kodu) öyrənə bilər. Şərh alətləri bu tip qısa yol öyrənmə (shortcut learning) hallarını üzə çıxararaq təlimin düzəldilməsinə imkan verir [3].

F. Tətbiq Mərhələləri

Akademik məqalələrdə tez-tez yer verilməsə də, modelin klinik istifadəyə hazırlanması əlavə mərhələlər tələb edir:

- Kalibrləmə — proqnoz ehtimallarının real risklərlə uyğunlaşdırılması (Platt Scaling, isotonic regression),
- Monitoring və dövrü yenidən öyrədilmə, xüsusən canlı verilənlərlə və ya fərqli cihazlarla işləyərkən,
- Ədalətlik və fərqliliklərə uyğunluq — modelin yaş, cins, etnik qrup kimi fərqli alt qruplarda balanslı işləməsi.

Bunlar üçün qəsdən hazırlanmış test dəstləri və ya bias azaldıcı öyrənmə strategiyaları tətbiq olunur.

IV. NƏTİCƏ

Dərin öyrənmə metodlarının tibbi təsvirlərdə tətbiqi nəticəsində xəstəliklərin proqnozlaşdırılması sahəsində əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə olunmuşdur. Rentgen və KT-də CNN modelləri pnevmoniya və ağciyər düyünlərinin aşkarlanmasında, MRT-də beyin şişlərinin segmentasiyasında, ultrasəsdə döl və ürək görüntülərinin təhlilində, fundus şəkillərində diabetik retinopatiyanın müəyyən olunmasında, dermatologiyada isə melanoma aşkarlanmasında insan-mütəxəssislərlə müqayisə edilə biləcək dəqiqlik göstərmişdir. Patologiyada isə dərin modellər mikrometastazların və hüceyrə tiplərinin aşkarlanmasında yüksək AUC dəyərlərinə çatmışdır.

Bununla belə, model performansının fərqli cihaz və regionlarda sabitliyi, məlumat azlığı və “qara qutu” problemi kimi məhdudiyyətlər hələ də mövcuddur. İntegrasiya olunmuş Sİ-həkim əməkdaşlıq yanaşmaları daha yüksək dəqiqlik təmin edir və klinik axına daha uyğundur. Gələcək inkişaf, izah edilə bilən süni intellekt və multimodal yanaşmaların tətbiqi ilə bu

modellərin istifadəsini daha da genişləndirə bilər. Dərin öyrənmə, tibbi görüntü analizində yalnız əlavə vasitə deyil, klinik qərar qəbulunu dəstəkləyən əsas texnologiyaya çevrilmək potensialına malikdir.

ƏDƏBİYYAT

- [1] “Global medical imaging market report 2021-2026: analysis by X-ray, ultrasound, MRI, CT scan, nuclear imaging – ResearchAndMarkets.com,” Business Wire, Jun. 8, 2021. [Online]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20210608005582/> (accessed May 21, 2025).
- [2] B. Sistaninejad, H. Rasi, and P. Nayeri, “A review paper about deep learning for medical image analysis,” *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2023, art. 7091301, May 2023.
- [3] J. Hofmeister, N. Garin, X. Montet, M. Scheffler, A. Platon, and P.-A. Poletti, et al., “Validating the accuracy of deep learning for the diagnosis of pneumonia on chest X-ray against a robust multimodal reference diagnosis: a post hoc analysis of two prospective studies,” *Eur. Radiol. Exp.*, vol. 8, art. 20, Feb. 2024.
- [4] Y. Jalali, M. Fateh, M. Rezvani, V. Abolghasemi, and M. H. Anisi, “ResBCDU-Net: a deep learning framework for lung CT image segmentation,” *Sensors*, vol. 21, no. 1, art. 268, Jan. 2021.
- [5] Y. Liu, F. Mu, Y. Shi, J. Cheng, C. Li, and X. Chen, “Brain tumor segmentation in multimodal MRI via pixel-level and feature-level image fusion,” *Front. Neurosci.*, vol. 16, art. 1000587, Sep. 2022.
- [6] H. Zhang and Y. Qie, “Applying deep learning to medical imaging: a review,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 18, art. 10521, Sep. 2023.
- [7] L. Peng and V. Gulshan, “Deep learning for detection of diabetic eye disease,” Google Research Blog, Nov. 29, 2016. [Online]. Available: <https://research.google/blog/deep-learning-for-detection-of-diabetic-eye-disease/> (accessed May 21, 2025).
- [8] V. Gulshan, L. Peng, M. Coram, M. C. Stumpe, D. Wu, and A. Narayanaswamy, et al., “Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs,” *JAMA*, vol. 316, no. 22, pp. 2402–2410, Dec. 2016.
- [9] G. Alwakid, W. Gouda, M. Humayun, and N. U. Sama, “Melanoma detection using deep learning-based classifications,” *Healthcare*, vol. 10, no. 12, art. 2481, Dec. 2022.
- [10] A. Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, J. Ko, S. M. Swetter, and H. M. Blau, et al., “Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks,” *Nature*, vol. 542, no. 7639, pp. 115–118, Feb. 2017.
- [11] K. Young, “AI could help detect lymph node metastases,” *NEJM Journal Watch*, Dec. 13, 2017. [Online]. Available: <https://www.jwatch.org/fw113630/2017/12/13/ai-could-help-detect-lymph-node-metastases> (accessed May 21, 2025).
- [12] Q. D. Vu, S. Graham, T. Kurc, M. N. N. To, M. Shaban, and T. Qaiser, et al., “Methods for segmentation and classification of digital microscopy tissue images,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 7, art. 53, Apr. 2019.
- [13] H. Badgery, Y. Zhou, A. Siderellis, M. Read, and C. Davey, “Machine learning in laparoscopic surgery,” in *Artificial Intelligence in Medicine: Applications, Limitations and Future Directions*, M. Raz, T. C. Nguyen, and E. Loh, Eds. Singapore: Springer, 2022, pp. 175–190.
- [14] B. E. Bejnordi, M. Veta, P. J. van Diest, B. van Ginneken, N. Karsssemeijer, and G. Litjens, et al., “Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer,” *JAMA*, vol. 318, no. 22, pp. 2199–2210, Dec. 2017.
- [15] A. Davri, E. Birbas, T. Kanavos, G. Ntritsos, N. Giannakeas, and A. T. Tzallas, et al., “Deep learning on histopathological images for colorectal cancer diagnosis: a systematic review,” *Diagnostics*, vol. 12, no. 4, art. 837, Apr. 2022.
- [16] [A. Saood and I. Hatem, “COVID-19 lung CT image segmentation using deep learning methods: U-Net versus SegNet,” *BMC Med. Imaging*, vol. 21, no. 1, art. 19, Feb. 2021.

Tibdə Hədəfli Dərman Çatdırılmasının Tətbiqi

İsmayıl Qafarov¹, Nərmin Ələsgərova²
Azərbaycan Tibb Universiteti, Bakı, Azərbaycan

¹dr.qafarov@hotmail.com , ²narmin_mammadova_95@mail.ru

Xülasə— Biofizika bioloji sistemlərin, hüceyrələrin fiziki xüsusiyyətləri, onların strukturu, həmçinin molekulyar qarşılıqlı əlaqə, bioloji proseslərin mexanizmini öyrənən bir elmdir. Biofizika canlı sistemlərin strukturu, onların funksiyaları və qarşılıqlı əlaqələrin fizikanın prinsip, metodlarını biologiyaya tətbiq edərək öyrənir. Biofizika tibbin bir çox sahəsi ilə sıx əlaqəlidir və müasir tibb elmi bu biliklər olmadan tam mümkün deyil. Diaqnostika, müalicə və biotexnologiyanın inkişafı üçün biofizikanın rolu əvəzsizdir. Biofizika həm həyatın əsas molekullarının (zülallar, DNT, RNT və s.) strukturu və funksiyasının öyrənilməsi, həm də hüceyrə membranları, enzimatik reaksiyalar, enerji ötürülməsi və sinir impulslarının yayılması kimi prosesləri əhatə edir. Biofizikanın əsas istiqamətləri molekulyar biofizika, hüceyrə biofizikası, struktur biofizika, bioenergetika, qamma və radiobiofizika, neurobiofizika, kompüter və nəzəri biofizikadır.

Açar sözlər: biofizika, nanohissəciklər, hədəfli dərman çatdırılması

I. GİRİŞ

Nanotexnologiya təqribən 1-100 nm miqyasında molekul, atom səviyyəsində yeni fiziki, kimyəvi keyfiyyətə malik olan struktur, qurğuların yaradılması, tətbiqini həyata keçirir.

Nanotexnologiyanın biofizikada rolu əvəzsizdir. Nanobiofizika nanomaterial və nanostrukturların bioloji sistemlərlə qarşılıqlı əlaqəsini araşdırır. Yeni nanomaterialların dizaynı, dərman daşıyıcılarını çatdırılması, bioloji proseslərin simulyasiyası kimi sahələrdə kompüterdə xüsusi proqramlar tətbiq edilir. Bura materialların bioloji uyğunluğu, nanomateriallarının hüceyrə daxilində hərəkəti aiddir.

Nanotexnologiya dərman molekullarını **nanoölçülü daşıyıcı sistemlərə** yükləyərək, onları xüsusi toxumalara və hüceyrələrə hədəfləməyə imkan verir. Bu da dərmanın effektivliyini artırır və yan təsirləri azaldır.

Nanotexnologiyanın dərman çatdırılmasında istifadə nümunələri aşağıdakılardır:

Onkoloji müalicə: Nanodaşıyıcılar şiş hüceyrələrinə hədəflənir, sağlam toxumalara zərər vermir.

Antimikrob preparatlar: Nanoparçacıqda saxlanılan antibiotiklər bakteriyaların müqavimətini azaltmağa kömək edir.

Gen terapiyası: Nanodaşıyıcılar vasitəsilə genetik materialın hüceyrəyə çatdırılması.

II. İŞIN MƏQSƏDİ

İşığın minimum toxuma zərəri ilə maksimum aktivlik yaratdığı nöqtəni müəyyənləşdirmək.

Maksimal aktivlik intervalı işıq və lazer əsaslı terapiyalar üçün tibdə və biotexnologiyada əsasdır. Fotodinamik terapiya (xərçəngin müalicəsi), fotobiomodulyasiya, lazer cərrahiyyəsi və estetik prosedurlar zamanı (qırışların azaldılması, dəri gəncəşdirmə və s.) bu metoddan geniş şəkildə istifadə edirlər. Adətən 650–800 nm arası “terapevtik pəncərə” hesab olunur. [1]

Bu gün üçün tibdə nanotexnologiyaların tətbiqi üçün çoxsaylı yanaşmalar mövcuddur. Kapsul şəklində olan maddənin hüceyrəyə çatdırılması üçün onu oval formada olan struktura daxil edilir. Bu kapsulun üstünlüyü ondadır ki, onun vasitəsilə molekulun hərəkətini, hüceyrə daxilində maddənin parçalanmasını izləmək mümkün olur. Həmçinin kapsul maddənin hüceyrə daxilində uzun müddətli hərəkətini müəyyən zaman kəsiyində görməyə imkan verir. Kapsul xarici təsirləri –ultrabənövşəyi şüaların və maqnit sahəsinin təsiri zamanı araşdırma aparən tədqiqatçı lazımı vaxtda hüceyrənin lazım olan yerində məqsədli yönləndirilmiş şəkildə maddəni parçalayır və o da terapevtik effekt verir [2]

Tibdə nanotexnologiyaların tətbiqi və kapsul formalı dərman daşıyıcıları

Müasir tibdə nanotexnologiyalar xəstəliklərin diaqnostikası və müalicəsində innovativ yanaşmalar təqdim edir. Bu sahədə istifadə olunan ən mühüm texnologiyalardan biri nanoölçülü kapsul formalarında dərman maddələrinin hüceyrəyə çatdırılmasıdır.

Bu üsulda dərman maddəsi oval formalı nano-kapsulun içinə yerləşdirilir. Bu kapsulların bir neçə mühüm üstünlüyü vardır:

Hədəfli daşıma. Kapsullar dərmanı birbaşa xəstə hüceyrəyə çatdıraraq sağlam hüceyrələrin zərər görməsinin qarşısını alır. Bu xüsusiyyət, xüsusilə xərçəng müalicəsində çox önəmlidir.

İzlənəbilənlik. Kapsul hüceyrəyə daxil olduqdan sonra onun hərəkət trayektoriyası, daxiləki dərmanın necə və harada parçalandığı izlənilə bilər. Bu, müalicə prosesinin dəqiq idarə olunmasına imkan yaradır.

Vaxt və məkan baxımından idarəetmə. Kapsulun strukturu elə hazırlanır ki, ultrabənövşəyi şüalar və ya maqnit sahəsi kimi xarici təsirlərlə istənilən vaxtda və

istənilən yerdə aktivləşdirilərək, içindəki maddə sərbəst buraxılır. Bu da məqsədli və lokal terapeutik effekt yaradır.

Uzunmüddətli təsir. Kapsul tədricən və nəzarətli şəkildə parçalandığı üçün dərman maddəsi uzun müddət ərzində hüceyrə daxilində təsir göstərə bilər. Bu, dozaların azaldılmasına və yan təsirlərin minimuma endirilməsinə kömək edir.

Bu texnologiya, xərçəng, neyrodegenerativ xəstəliklər, infeksiyalar və gen terapiyası sahələrində geniş istifadə olunur və gələcəyin fərdiləşdirilmiş tibbi müalicələrinə yol açır.

Nanohissəciklər fotoxrom xüsusiyyətinə malik olduğu üçün xarici təsir altında öz rəngini dəyişir. Fotoxrom nanohissəciklər, işıq təsiri ilə flüoresens və ya optik signal dəyişdirdiklərinə görə, bioloji toxumaların yüksək dəqiqliklə görüntülənməsi üçün istifadə olunur. Onların bu qabiliyyəti qeyri-invaziv görüntülmə texnikalarında (fotoakustik və flüoresens görüntülmə və s.) əhəmiyyətlidir.

III. AĞILLI DƏRMAN ÇATDIRILMASI

Ağıllı Dərman çatdırılması – fotoxromik nanohissəciklər, müəyyən dalğa uzunluğunda işıq təsiri ilə aktivləşərək dərmanı sərbəst buraxa bilər. Bu, nəzarət olunan, hədəfli və zamanla tənzimlənən dərman tətbiqini mümkün edir. Ağıllı dərman çatdırılmasının əsas prinsipləri bunlardır:

Dərman yalnız xəstə toxumaya çatdırılır, sağlam toxumalar qorunur.

Nəzarət edilən sərbəst buraxılma
Dərman müəyyən vaxtda və ya şəraitdə (pH, temperatur, fermentlər, maqnit sahəsi və s.) sərbəst buraxılır.

Biouyğun materiallardan istifadə
Nano- və mikrodəyişicilər (məsələn, liposomlar, dendrimerlər, polimerlər) orqanizmlə uyğunluq göstərir və toksik deyillər. Ağıllı Dərman çatdırılması tətbiq sahələri bunlardır:

Onkologiya: Şiş hüceyrələrinə hədəflənmiş kimyaterapiya.

Neyrologiya: Beyin baryerini keçə bilən sistemlər .

İnfeksiya xəstəlikləri: Antibiotiklərin lokal və effektiv istifadəsi.

Autoimmün xəstəliklər: İltihablı bölgələrə hədəflənmiş dərman çatdırılması.

Xərçəngin müalicəsində, dərman yalnız şiş toxumasına yönəldilir və işıqla aktivləşdirilərək yan təsirlərin qarşısı alınır. Fotoaktivləşən dərman sistemləri, yalnız işıq olduqda dərmanı buraxır.

Biomolekulların və hüceyrə proseslərinin tədqiqində fotoxromik nanohissəciklər biosensor kimi istifadə edilə bilər. Onlar müəyyən molekulların iştirakı ilə işıq signalını dəyişə bilər, bu da tədqiqatçılara hüceyrədaxili prosesləri izləməyə imkan verir.

Antibakterial və antiviral tətbiqlər zamanı bəzi fotoxrom nanohissəciklər, fotodinamik terapiya üçün istifadə olunur:

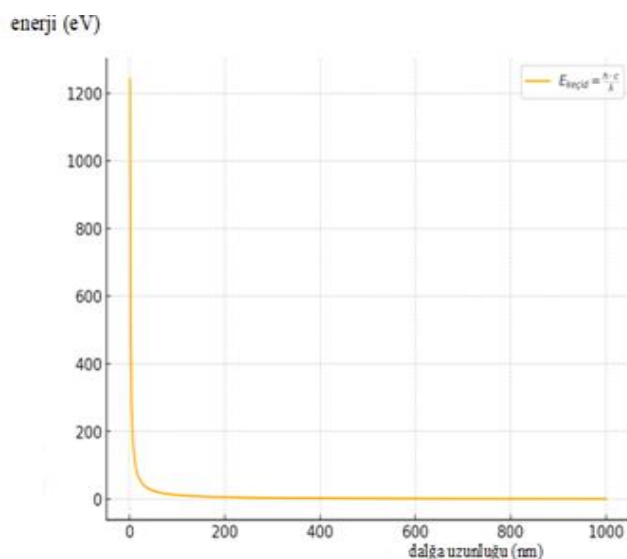
ışıqla aktivləşərək reaktiv oksigen növləri yaradır və bu da bakteriya və ya virusları məhv edir.

Bu metod dərmanlara davamlı bakteriyalara qarşı alternativdir və dəri infeksiyalarında və ya xərçəng toxumalarının məhvində istifadə oluna bilər.

Fotodinamik terapiya üçün enerji hesablamaları zamanı fotodinamik terapiyada nanohissəciklər işıqla aktivləşərək reaktiv oksigen növləri yaradır. Enerji hesablamasının düsturu aşağıdakı kimidir:

$$E_{kecid} = \frac{hc}{\lambda}$$

Bu düstur ilə istifadə olunan işıq dalğa uzunluğu üçün enerji hesablanır (nm → eV çevrilməsi). Enerjinin dalğa uzunluğundan asılılıq qrafiki şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. Enerjinin dalğa uzunluğundan asılılıq qrafiki.

Göründüyü kimi, dalğa uzunluğu (nm) azaldıqca enerji artır, bu da enerji ilə dalğa uzunluğu arasındakı tərs əlaqəyə uyğunlaşır. X oxu nanometrlərdə (nm) dalğa uzunluğunu, y oxu isə elektron voltlarda (eV) müvafiq enerjini göstərir.

Ağıllı Dərman çatdırılmasının daha az yan təsir, dərmanın effektivliyinin artması, dozanın azalması, daha uzunmüddətli təsir kimi üstünlükləri mövcuddur.

Bioloji sistemlərə uyğunlaşa bilən nanohissəciklərin hazırlanması, onların hüceyrəyə daxil olması, hədəfli dərman çatdırılması prosesləri bu gün aktualdır.

Kompüterdə xüsusi proqramların biofizikada hədəfli dərman çatdırılmasında rolu mühümdür. Burada ən vacib məqam dərmanların yalnız zədələnmiş toxuma və hüceyrələrə tətbiqi, sağlam hüceyrələrə təsir etməməsi, yan təsirlərin azaldılması nəzərdə tutulur. [3]

Nanomaterialların analizi və dərman daşıyıcılarının davranışının simulyasiyasında xüsusi kompüter proqramları

geniş şəkildə istifadə olunur. Həmçinin dərman daşıyıcılarının bədən daxilində hərəkət və davranışını simulyasiya etmək üçün xüsusi kompüter proqramlarında alqoritmlərdən istifadə olunur və bu dərman daşıyıcılarının hansı orqanlara və hansı sürətlə çatacağını proqnozlaşdırır.

IV. NƏTİCƏ

Biz hazırda fotoxromik nanohissəciklərin tibdə biosensor kimi istifadə olunması hadisəsini araşdırırıq. Haqqında danıdığımız kapsulları laboratoriya şəraitində almışıq. Bu kapsulların divarından hazırda su molekulları keçir. Bizim məqsədimiz isə gələcəkdə heç bir atom və molekulun keçə bilmədiyi kapsullar almaqdır.

Kompüterdə xüsusi proqramların biofizikada tətbiqi ilə yeniliklərin əldə olunacağına inanırıq. Fotoxromik nanohissəciklərin tibdə biosensor kimi istifadəsi hələ də inkişaf edən bir sahədir, amma onların xüsusiyyətləri və potensialı çox genişdir. Onlar xüsusilə terapiya nəticələrinin qiymətləndirilməsi sahələrində inqilabi dəyişikliklərə səbəb ola bilər. Bu texnologiyanın daha da inkişafı, daha dəqiq və daha effektiv tibbi cihazların yaradılmasına gətirib çıxara bilər.

İSTINADLAR.

- [1] M. Hasan, C. G. Evett, J. T. Burton, (2024). Advances in Nanoparticle-Based Targeted Drug Delivery Systems for Colorectal Cancer Therapy: A Review. arXiv.
- [2] S. Gulati, N. Ansari, Y. Moriya, K. Joshi, D. Prasad, G. Sajwan, S. Shukla, S. Kumar, R. S. Varma, Nanobiopolymers in cancer therapeutics: advancing targeted drug delivery through sustainable and controlled release mechanisms. Journal of Materials Chemistry B, 2024, 12, 11887-11915. <https://doi.org/10.1039/D4TB00599F>
- [3] Becker, A. T., Fekete, S. P., Huang, L., Keldenich, P., Kleist, L., Krupke, D., Rieck, C., & Schmidt, A. (2024). Targeted Drug Delivery: Algorithmic Methods for Collecting a Swarm of Particles with Uniform External Forces. 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 31 May 2020 - 31 August 2020, Paris, France DOI: 10.1109/ICRA40945.2020.9196551

Proceedings
of the II Republic Scientific-Practical Conference
"Digital Medicine 4.0: Challenges, Opportunities,
and Prospects"

SESSION I. SCIENTIFIC-THEORETICAL PROBLEMS OF THE FORMATION OF DIGITAL MEDICINE”

CYBER RESILIENCE ISSUES OF MEDICAL CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Rasim Alguliyev¹, Ramiz Aliguliyev², Lyudmila Sukhostat³

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹*r.alguliev@gmail.com*, ²*r.aliguliyev@gmail.com*, ³*lsuhostat@hotmail.com*

Abstract — Medical cyber-physical system is a critical component of the medical device network. The application of cyber-physical systems in healthcare ranges from patient monitoring to various devices. Existing technologies in this area require constant updating and rapid response to ever-increasing cyberattacks. Among the most well-known threats to medical cyber-physical systems are tampering, phishing, spoofing, data exfiltration, ransomware, DoS, etc. Attackers try to disrupt the operation of medical cyber-physical systems and gain access to confidential medical data. Existing threats violate integrity, confidentiality, and availability. In this regard, various issues of medical cyber-physical systems' cyber resilience are considered in the paper.

Keywords — medical cyber-physical system; cyber resilience; medical device; cyberthreat; cyber-risk.

ANALYSIS OF LARGE LANGUAGE MODELS FOR CENTRALIZED PROCESSING OF MEDICAL DATA

Vilayat Valiyev¹, Nuran Abdullayev², Cavid Abbasli³

¹Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

²Department of Radiology and Neuroradiology, GFO Clinics Troisdorf, Germany

³Institute of Biomedical Engineering, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

¹*rector@aztu.edu.az*, ²*nuran.abdullayev@gfo-kliniken-troisdorf.de*, ³*cavid.abbasli@aztu.edu.az*

Abstract — With the rapid expansion of the medical information ecosystem, systematic processing of large-scale and heterogeneous medical data is essential for optimizing diagnosis, monitoring, and treatment protocols for complex neurological and oncological conditions such as tumor pathologies and ischemic stroke. Accurate evaluation of these diseases relies on the integration of structured and unstructured data sources, including electronic health records, genomic profiles, radiological images, and laboratory results. Transformer-based Large Language Models (LLMs) have significantly advanced natural language processing (NLP), enabling semantic interpretation of clinical texts. These models support the contextual understanding of histopathological descriptions, clinical protocols, contributing to the refinement of diagnostic algorithms in oncology and stroke. This article examines the architectural features, benefits, limitations, and future potential of LLMs in centralized medical data analysis. The aim is to enhance the role of LLMs as accurate analytical tools in clinical decision-making and to foster the development of personalized medical services.

Keywords — Large Language Models (LLMs), tumor pathologies, ischemic stroke, multimodal medical data, clinical decision support systems.

USING DIGITAL HEALTH TECHNOLOGIES TO INNOVATE IMMUNOLOGY AND PHARMACOLOGY EDUCATION

Nadeem Fazal

Chicago State University, USA

nfazal@csu.edu

Abstract — The dynamic fields of immunology and pharmacology demand innovative educational strategies to ensure future healthcare professionals have up-to-date knowledge and skills. In digital transformation, integrating digital health technologies — including mobile applications, virtual simulations, artificial intelligence (AI)-powered tutoring systems, and tele-education platforms — offers unprecedented opportunities to enhance learning experiences. This study explores the development and implementation of digital health tools in immunology and pharmacology education, focusing on their role in improving conceptual understanding, clinical decision-making skills, and learner engagement. Pilot programs integrating virtual laboratories, AI-driven case studies, and real-time patient data simulations were conducted across undergraduate medical courses. Preliminary results indicate significant improvements in knowledge retention, critical thinking, and practical skills among students who utilized digital health-enhanced modules compared to traditional curricula. The findings suggest that strategic incorporation of digital health technologies can bridge the gap between theoretical knowledge and clinical practice, fostering a new generation of healthcare professionals proficient in scientific foundations and digital competencies.

Keywords — Digital Health, Immunology education, Virtual Reality, Artificial Intelligence

APPLICATION OF FUNCTIONAL BIOMARKERS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED MEDICAL DIAGNOSTICS

Matanat Bakhishova¹, Leylaxanum Melikova^{1,2}, Oktay Gasymov¹

¹ Institute of Biophysics of MSERA, Baku, Azerbaijan

² National Center of Oncology, Azerbaijan Republic Ministry of Health, Baku, Azerbaijan

Abstract — Lung cancer remains the leading cause of mortality from malignant tumors worldwide. Accordingly, early diagnosis plays a critical role in improving patient survival rates. However, there are currently no effective and universally accepted screening methods for the early detection of lung cancer. An ideal screening approach should be non-invasive, rapid, and cost-effective. In a previous study, artificial intelligence was employed to classify cancer using venous blood samples. To enhance the reliability and comprehensiveness of AI-based diagnostic tools, this study investigated temperature-dependent phase transitions in lipids extracted from healthy and carcinoma human lung cells using Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. The findings revealed distinct differences in the lipid phase transitions between healthy and cancerous cells, with pronounced variations observed at 37 °C. The biomarkers identified through this approach are functionally significant and suggest a direct relationship between temperature-dependent lipid behavior and cellular function. It is anticipated that integrating these findings into AI-based diagnostic systems will substantially improve the accuracy of lung cancer detection.

Keywords — artificial intelligence, non-invasive biopsy, FTIR, lung cancer, personalized medicine, biomarkers.

COMPUTER ANALYSIS OF EVOLUTIONARILY CONSERVED PHARMACOLOGICALLY IMPORTANT AMINO ACID SEQUENCES OF EGFR AND HER2

Ilham Shahmuradov¹, Gunay Aliyeva², Aysel Aliyeva³, Azad Abdurahimov⁴, Karim Gasimov⁵

Institute of Biophysics of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹ilhambaku@gmail.com, ²aliyeva.gunay.1986@gmail.com, ³ayselaliyeva0130@gmail.com, ⁴aazadmed@gmail.com, ⁵gasimovk@yahoo.com

Abstract — The evolutionarily conserved amino acid sequences (AAA75493.1) of the extracellular domain (ECD) of two members of the ErbB family of tyrosine kinase receptors, wild-type EGFR (1210 residues, GenBank: NM_005228.5) and wild-type HER2 receptor (125G Bankendu), were analyzed by computer scanning. Motifs consisting of various amino acid sequences repeated over the functional domain sequences located in the ECD domain of EGFR, which consists of 633 residues, and HER2, which consists of 640 residues, were noted. 3 splice forms of EGFR, and up to 30 forms of the more than 2000 existing splice and mutant variations of HER2 found in the different databases were examined, and a comparative analysis of the ECD domain of 10 samples was performed. Motifs consisting of numerous conserved residues in the ECD region of these proteins constitute important sequences in the corresponding regions. A large proportion of these sequences have also been found in other, non-signaling proteins, suggesting that the ErbB receptor family has an evolutionary older origin. These conserved motif sequences can be used as important epitopes in the design of specific humanized monoclonal antibodies.

Keywords — ErbB receptor family, tyrosine kinase, ECD computer scanning, MEME Suite, ScanProsite analyses.

FROM GLOBAL BEST PRACTICES TO NATIONAL IMPLEMENTATION: DIGITAL HEALTH STRATEGIES FOR AZERBAIJAN

Bahar Graefen

Chicago State University, IL, USA

bahar.graefen@gmail.com

Abstract — The rapid evolution of digital technologies has created unprecedented opportunities for transforming healthcare systems worldwide. Experiences from countries such as Estonia, Sweden, Singapore, and China demonstrate how digital tools – including electronic health records, telemedicine, mobile health, and artificial intelligence – can enhance healthcare accessibility, quality, and efficiency. This thesis explores digital health's role in addressing healthcare challenges and its adaptation to the Azerbaijani context. Although Azerbaijan has initiated digital reforms like e-prescriptions and telemedicine, significant challenges remain, including infrastructural gaps, regulatory needs, and digital literacy barriers. This study analyses the current landscape, identifies key obstacles and opportunities, and offers strategic recommendations. By leveraging global best practices and investing in infrastructure, capacity building, and governance, Azerbaijan can build a resilient, equitable digital health ecosystem that advances public health goals.

Keywords —: Digital Health, Health system, Telemedicine, Public Health, Azerbaijan.

CLINICAL SIGNIFICANCE OF EGFR GENE MUTATIONS IN NON-SMALL CELL LUNG CANCER

Sabina Mehdizadeh¹, Elchin Mansurov^{1,2}, Javid Aliyev¹, Elnara Aliyeva¹, İlqar Gasımszade, Aleksandra Guliyeva¹¹, Leylakhanım Melikova¹

¹ National Center of Oncology, Azerbaijan Republic Ministry of Health, Baku, Azerbaijan

² Institute of Biophysics of MSERA, Baku, Azerbaijan

³Ministry of Health of Republic of Azerbaijan Azerbaijan State Advanced Training Institute for Doctors named by A.Aliyev

¹ info@mom.gov.az, ^{1,2} Lmelikova20027@gmail.com, ³ info@adhti.edu.az

Abstract — This study analyzes the clinical significance and treatment response features of epidermal growth factor receptor (EGFR) gene mutations in patients with non-small cell lung cancer (NSCLC). Out of 507 patients who applied to the National Oncology Center between 2013–2024, EGFR mutations were detected in 133, of which 6 had dual mutations. Long-term survival was observed in patients treated with EGFR tyrosine kinase inhibitors (TKIs). The results indicate that complex EGFR mutations require a personalized clinical approach, and treatment strategies should be designed according to the patient's genetic profile.

Keywords — NSCLC, EGFR gene mutations, dual mutations, tyrosine kinase inhibitors, personalized oncology treatment

OPTIMIZING INDOOR AIR QUALITY AND REDUCING COSTS THROUGH ETHERNET-POWERED SENSOR NETWORKS: A BASF CASE STUDY AND BENEFITS FOR AZERBAIJAN

Patrick Graefen

BASF SE, Germany

patrick.graefen@basf.com

Abstract – Indoor air quality (IAQ) is a critical component of environmental health, affecting human wellbeing, productivity, and energy use. This study examines a case where an Ethernet-powered sensor network (using Power over Ethernet, PoE) was deployed at a BASF facility to monitor and optimize IAQ. The deployment enabled real-time data collection and dynamic HVAC control, resulting in improved air quality and significant energy cost savings. Data-driven heat maps revealed spatial and seasonal IAQ patterns, guiding targeted ventilation and filtration adjustments. IAQ improvements have well-documented benefits for human health and cognitive performance. The discussion highlights the implications for Azerbaijan, a nation facing environmental challenges, by demonstrating how sensor networks and best practices can enhance building air quality, support public health, and align with energy efficiency goals. The article concludes that integrating such smart IAQ management systems in Azerbaijani buildings could yield economic and health advantages, supporting sustainable development initiatives.

Keywords: Indoor Air Quality; Ethernet-Powered Sensors; Environmental Monitoring; Digital Health Infrastructure; HVAC Optimization.

MECHANICAL ANALYSIS METHODS OF SPARC AND TGF- β INTERACTION WITH DIGITAL TECHNOLOGIES AND THERAPEUTIC POTENTIAL IN ONCOLOGY

Banu Astanova¹, Sevda Mahmudova²

^{1,2}Institute of Biophysics of MSERA, Baku, Azerbaijan,

¹Baku State University, Baku, Azerbaijan

¹banu.aghamaliyevaa@gmail.com, ²mahmudovasevda96@gmail.com

Abstract — The SPARC (Secreted Protein, Acidic, and Rich in Cysteine) family of proteins interacts with the TGF- β (Transforming Growth Factor Beta) signaling pathway, which regulates processes such as cell proliferation, differentiation, and extracellular matrix (ECM) remodeling. Additionally, the interaction between SPARC and TGF- β influences tumor progression by affecting cell-cell and cell-matrix adhesion, migration, and modulation of immune responses in the tumor microenvironment. Understanding these mechanistic interactions holds therapeutic potential, as targeting the SPARC and TGF- β pathways may offer novel treatment strategies for fibrotic diseases and certain types of cancer. This article analyzes the molecular and mechanistic foundations of SPARC-TGF- β interactions and their potential as therapeutic targets, particularly in the context of modern digital technologies, including bioinformatics, systems biology, and artificial intelligence algorithms.

Keywords — SPARC, TGF- β , fibrosis, extracellular matrix (ECM).

CHAIN.CARE: A PRIVACY-PRESERVING FEDERATED LEARNING APPROACH FOR AI-DRIVEN ONCOLOGY RESEARCH ASSISTANCE

Safa Omri, Wafa Omri, Elena Kalimera, Fouad Omri
Predapp GmbH, Heidelberg, Germany
elena.kalimera@predapp.

Abstract — Oncology faces an unprecedented challenge in knowledge management, with clinicians required to process over 4,000 new research publications monthly while administrative tasks consume 30-40% of their time. This paper introduces CHAIN.CARE, a specialized AI-driven medical research assistant built specifically for oncology. The system employs a novel multi-agent architecture underpinned by a semantic reasoning engine and an extensive oncology-specific knowledge graph comprising 20 million entities and 115 million relationships. Privacy and data sovereignty concerns are addressed through a federated learning approach that enables knowledge sharing without compromising sensitive patient or institutional data. We demonstrate through pilot deployments that the system reduces documentation time by 40% while providing contextualized research insights. Our evaluation shows high precision (92.3%) and recall (89.7%) in identifying relevant literature for specific oncological queries, significantly outperforming general-purpose information retrieval systems. This work represents a significant advancement in specialized AI systems for clinical knowledge management and workflow optimization in oncology.

Keywords — federated learning, healthcare AI, knowledge graphs, medical research, multi-agent systems, oncology, semantic reasoning

ARCHITECTURE OF MEDICAL NETWORK INFRASTRUCTURE: INTEGRATION OF MEDICAL HEALTH SENSORS INTO CLOUD-BASED PLATFORMS

Rashid Alakbarov, Ogtay Alakbarov
Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan
rashid.alakbarov@gmail.com

Abstract — The article provides a detailed analysis of a multi-level medical network architecture, examining the functional characteristics and operating principles of each level. In addition, the advantages and existing limitations of cloud-based computing systems are evaluated. The study explores the potential of cloud-based medical infrastructure, focusing on the processing of data collected through health sensors in the system's processing centers and its analysis using artificial intelligence algorithms, which enables early detection of diseases and the development of personalized treatment plans. Furthermore, the principles of creating personalized cloud environments for patients on the servers of processing centers are investigated, and the benefits offered by this approach in practical application are highlighted.

Keywords — sensors, edge computing, cloud computing, data center, artificial intelligence, security, internet of things.

CYBERSECURITY ISSUES AND SOLUTIONS FOR PERSONAL MEDICAL DATA IN THE DIGITAL HEALTH ENVIRONMENT

Ramiz Shikhaliyev
Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan
shikhramiz61@gmail.com

Abstract — Today, the widespread use of electronic medical records, telemedicine platforms, wearable devices, and the Internet of Medical Things has enabled the creation of adequate medical services. However, while these technologies have made healthcare more accessible to patients, they have also created numerous cybersecurity threats to personal medical data (PMD) and increased the risk of cyberattacks. Cyberattacks on PMD can compromise its integrity and confidentiality, which can ultimately disrupt healthcare services and undermine trust in healthcare organizations. In addition, since PMD contains medical histories, diagnoses, treatment plans, genetic information, and insurance information, it can be used for identity theft, financial fraud, and more. Therefore, ensuring the cybersecurity of PMD is an important issue and requires a comprehensive analysis. This study analyzes various aspects affecting healthcare cybersecurity, including risks associated with the digitalization of healthcare, vulnerabilities of modern healthcare IT systems, existing cyber threats, security standards, and regulatory requirements, as well as promising areas for improving healthcare cybersecurity.

Keywords — personal medical data, electronic medical records, cybersecurity, cybersecurity threats, digital healthcare, risks in digital healthcare.

ISSUES OF THE MONETIZATION OF MEDICAL DATA

Rasim Mahmudov

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

rasimmahmudov@gmail.com

Abstract — As a result of the development of modern digital technologies, medical data has become one of the key resources of healthcare systems. Data collected through electronic health records, genetic information, mobile applications, and wearable technologies carries economic value not only for clinical purposes but also for pharmaceutical, insurance, and AI-based services. This article analyzes the types and monetization forms of medical data, examines the stages of data processing and commercialization, evaluates ethical and legal issues, and discusses the experiences of leading countries in this field. The potential for integrating medical data into economic circulation and the emerging challenges are analyzed in the context of Azerbaijan. The aim of the article is to outline an effective and sustainable model that ensures a balance between economic benefits and ethical principles in the use of medical data.

Keywords — medical data, data monetization, types of medical data, electronic health records, personal data, digital health.

ADAPTIVE PROTECTION AGAINST ENERGY DEPLETION ATTACKS IN WEARABLE MEDICAL DEVICES

Shakir Mehdiyev

Institute of Information Technology of MSE, Baku, Azerbaijan

shakir.mehtieff@gmail.com

Abstract — Wearable medical devices (WMDs), such as pacemakers, insulin pumps, and other implantable systems, are critically dependent on battery charge, making them vulnerable to various energy depletion threats. This article examines the causes of energy loss, including cyberattacks targeting sensor, computational, and communication modules. Based on a comprehensive literature review, adaptive power management methods and an intrusion detection system are proposed to enhance the resilience of these devices. The findings highlight the urgent need for proactive strategies to ensure the energy security of WMDs in the face of increasing cyber-physical threats.

Keywords — wearable medical devices, sensors, energy vulnerabilities, battery failures, cyberattacks, energy monitoring.

PATIENT-CENTRED DIGITAL HEALTHCARE ECOSYSTEM: CHALLENGES AND SOLUTIONS

Farhad Yusifov

Institute of Information Technology of MSE, Baku, Azerbaijan

farhadyusifov@gmail.com

Abstract — Digital transformations are leading to an increasingly close integration between digital government and digital healthcare sectors. The integration of the healthcare system into digital government platforms has become a pressing necessity. Currently, digital technologies are widely applied across all areas of healthcare. A review of the literature indicates that the healthcare system is undergoing a phase of transformation, with one of its primary objectives being the provision of seamless, patient-centric services. This article analyzes perspectives on the development of a digital healthcare ecosystem and the delivery of medical services based on a patient-centric approach. It explores the advantages of transforming to a patient-centric digital healthcare model, as well as the challenges and existing issues in this area. The advancement of digital technologies and personalized healthcare is expected to transform health into a unified and more efficient system.

Keywords — digital health; digital government; digital healthcare ecosystem; patient-centered health services; digital technologies.

SOME ADVERSE HEALTH EFFECTS OF LOW FREQUENCY ACOUSTIC NOISE

Aghayev Bikas¹, Pashayeva Maleyka²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹*bikies418@gmail.com*, ²*maleykapashayeva15@gmail.com*

Abstract — The article is devoted to the study of problems of environmental pollution and the harmful effects of low-frequency acoustic noise on health. To justify the relevance and global importance of solving these issues, references were made to the UN document “The Concept of Sustainable Development” and reports of other influential organizations. A number of pathological conditions caused by inaudible infrasound and audible low-frequency spectra of sound signals have been studied. Experimental studies were conducted to assess the impact of infrasound sources in the industrial sector on the health of workers. The results of measurements of the research object were processed taking into account the requirements of the relevant standards. The obtained results were compared with the indicators of sanitary standards to assess the degree of impact of the noise environment in the workplace on the health of workers. Some protective measures are recommended to reduce the harmful effects of acoustic noise, the level of which exceeds the permissible standards.

Keywords — environmental problems, environmental pollution, acoustic noise pollution, harmful effects of noise on health, low frequencies, noise protection.

CYBER INCIDENTS, THREATS, RISKS AND THEIR INTELLECTUAL ANALYSIS IN DIGITAL HEALTH INFRASTRUCTURE

Babak Nabiyev¹, Konul Dashdamirova²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹*babek.nabiyev@gmail.com*, ²*konulahmed@gmail.com*

Abstract — The article analyzes cyber threats in the healthcare sector and the problems they cause. The main types of medical cyber threats are examined, their impact on patient safety, confidentiality of personal and clinical data, and the stable operation of healthcare infrastructure are shown. Global-scale cyber attacks aimed at e-health systems are investigated, and the consequences of these incidents are analyzed. Measures and approaches to ensure cybersecurity in medical infrastructures are presented. It is proposed to establish a specialized Medical CERT at the national level to effectively manage cyber threats in the healthcare sector and protect patient trust.

Keywords — Cyber security in the healthcare sector; medical data protection; ransomware attacks; phishing; DDoS; data breaches; patient safety; GDPR; HIPAA; digital health infrastructure; Medical CERT.

APPLICATIONS OF BRAIN-COMPUTER INTERFACE IN MEDICINE: CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS

Mammad Hashimov

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

mamedhashimov@gmail.com

Abstract — Brain-computer interface (BCI) is a communication system between the human brain and a computer that complement each other. This interface allows for communication not with the neuromuscular system of the human body, but with the help of its mental activity. The presented article examines the applications of BCI in the field of medicine. For this purpose, the article provides information on the current state and future prospects of BCI. The architecture of BCI is analyzed, methods and techniques for receiving signals from the brain are investigated, and the principle of operation of devices using these signals is presented. The experiments carried out on the clinical applications of BCI and the results obtained from them are shown. The problems existing in this field for the transition of BCI from the laboratory environment to real-life applications are analyzed.

Keywords — brain computer interface, electroencephalography, brain computer interface architecture, clinical applications of brain computer interface, brain computer interface problems.

DIGITAL MEDICINE 4.0 AND SOCIAL CREDIT SYSTEMS: PROBLEMS AND PROSPECTS

Irada Alekberova
Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan
airada.09@gmail.com

Abstract — The article provides brief information about the social credit system, examines how the combined work of Digital Medicine 4.0 and Social Credit Systems (SCS) will affect the development of medicine in the country, the health of citizens, and the successful functioning of the healthcare system. The essence of the concepts of Digital Medicine 4.0 and Healthcare 4.0, their features, similarities and differences are analyzed. In the modern era of rapid development of digital medicine, the problems and potential risks posed by SCS in this direction are identified. Also, attention is paid to the future prospects of SCS under the influence of Digital Medicine 4.0, and the potential impacts of SCS on people's health, behavior, and general well-being are identified.

Keywords — Digital Medicine 4.0, Social Credit System, Industry 4.0, Healthcare 4.0, Artificial Intelligence.

ENSURING CYBERSECURITY OF CENTRALIZED PERSONAL MEDICAL DATABASES THROUGH THE APPLICATION OF ENCRYPTION METHODS

Araz Mustafa
Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan
araz.mmustafa@gmail.com

Abstract — The protection of the confidentiality and security of personal medical data represents one of the foremost challenges in the contemporary digital age. In the context of the widespread digital transformation of healthcare systems, the protection of personal medical data has become increasingly significant. Global healthcare institutions and governments around the world are taking this issue seriously by implementing various security protocols and encryption methods. The study examines the challenges associated with securing centralized personal medical databases and analyzes the primary encryption methods used to strengthen their cybersecurity.

Keywords — security of personal medical data, data encryption, database encryption, encryption of medical databases, security of personal patient data

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTHCARE

Kamala Karimova¹, Amina Aslanova², Ismail Gafarov³, Khayala Mammadova⁴
Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹kamala.karimova@inbox.ru, ²emine.aslanova83@gmail.com, ³dr.gafarov@hotmail.com, ⁴xayale81@yahoo.com

Abstract — The application of artificial intelligence (AI) in healthcare plays a crucial role in enhancing diagnostic accuracy, optimizing treatment processes, and ensuring efficient resource utilization. AI technologies support physicians in the early detection of diseases and the development of personalized treatment strategies. Particularly in healthcare systems with limited resources, these technologies help improve service quality. Additionally, the application of AI raises ethical and legal issues, including the protection of patient data and the replacement of human factors. Therefore, the development of legal frameworks and professional training programs is necessary for the effective implementation of these technologies.

Keywords — healthcare, artificial intelligence, disease prediction, medical methods.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF HEALTH SCIENCES BASED ON DATA FROM SCOPUS AND WEB OF SCIENCE DATABASES

Narmin Adigozalova

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

narmin66@gmail.com

Abstract — In recent years, it has been of great importance to conduct scientometric research using international scientific databases and their guidelines. The study aims to evaluate the field of health sciences using data from the Scopus database. For this purpose, we analyzed articles and references included in the Scopus scientific database in the field of health sciences, also analyzed all scientific fields separately, and compared health sciences with other scientific fields. Additionally, the study analyzes journals indexed in the Web of Science and Scopus databases in the field of health sciences and examines journals in the medical sciences included in the TOP 20.

Keywords — citations, number of paper, Impact Factor, CiteScore, evaluate the field of health sciences.

THE ROLE OF CITIZEN SCIENCE IN THE DEVELOPMENT OF DIGITAL MEDICINE

Tahmasib Fataliyev, Nargiz Verdiyeva

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

depart_5@iit.science.az

Abstract — The widespread application of Industry 4.0 technologies is manifested in the development of citizen science, which is emerging as an independent scientific field in various fields of science, including a new direction of e-science. As a result, the form of scientific research in modern society is changing, thereby influencing the development of digital medicine and other areas. The article is devoted to the study of the role of citizen science in this context. The citizen science factor in the development of digital medicine is considered, and its characteristic principles and the features of citizen participation in the implementation of projects are examined. Based on the materials studied on the topic, the main opportunities and application prospects provided by citizen science are shown.

Keywords— citizen science, e-science, Industry 4.0, digital medicine, citizen science projects.

PROBLEMS OF FORMATION OF DIGITAL MEDICAL TERMINOLOGY SYSTEM AND WAYS OF THEIR SOLUTION

Afruz Gurbanova¹, Mehriban Baghirova²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹afruz1961@gmail.com, ²mehriban.amea@gmail.com

Abstract — A digital medical terminology system requires a unified terminology that meets international standards, the use of a powerful digital platform for storing and processing large amounts of data, and integration with other medical information systems. The study examines the problems of forming a digital medical terminology system. The interaction of digital medical terminology with Big Data technologies and the new opportunities that these technologies open up for analyzing medical data and providing personalized and high-quality services are analyzed. The advantages of using natural language processing technologies, artificial intelligence, and blockchain to improve digital medical terminology management systems are considered. The advantages of using standard terminology to ensure the interoperability of medical information systems, improve the quality of medical documents, and support clinical decision-making are analyzed. The prospects for the development of a digital medical terminology system are determined.

Keywords — digital medical terminology, medical terminology dictionary, medical terminology standards, medical terminology information system, Big Data, artificial intelligence.

OPPORTUNITIES AND PROSPECTS CREATED BY THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES TO MEDICINE

Kamala Gurbanova

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

kemalewamil@gmail.com

Abstract — The continuous development of information and communication technologies has created a favorable environment for contactless control of modern computer and robotic systems. The paper notes the great importance of integrating artificial intelligence technologies (AIT) into the medical field and their irreplaceable role in various medical processes. Information is provided on the work done in the direction of methods that allow monitoring diseases in real time using AIT without limiting the patient's position or movements. The achievements of surgical robots in the medical field are noted and examples are shown. It is noted that the integration of contactless controlled technologies, robotics, electronic medicine and telemedicine projects into the healthcare field has opened up new prospects in the medical field.

Keywords — artificial intelligence technologies, medical robotics, robotic exoskeletons, robotic surgeon, telemedicine, collaborative robot, robotic laboratory assistant.

HISTORY OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN MEDICINE IN AZERBAIJAN

Aytan Nəbiyeva

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

aytenrn95@gmail.com

Abstract — In recent years, as in all areas, certain work has been done in healthcare in the direction of digitalization, and important scientific results have been achieved. Research on digitalization of medicine began in the late 20th century. The article emphasizes the importance of applying artificial intelligence in the healthcare system of Azerbaijan, discusses the contribution of research and scientific and theoretical results to society on the application of artificial intelligence in medicine. Information was provided on the work carried out in our country in the 1990s and the beginning of the 21st century on the use of artificial intelligence in medicine, created medical expert systems, dissertations reflecting their methodological basis, as well as on the research currently being conducted in Azerbaijan in the direction of developing digital medicine.

Keywords — healthcare system of Azerbaijan, artificial intelligence in medicine, medical expert systems, digital medicine.

THE ROLE OF TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF AN INCLUSIVE SOCIETY IN THE CONTEXT OF SOCIETY 5.0

Nazrin Rzayeva

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

depart_5@iit.science.az

Abstract — The integration of artificial intelligence (AI) and robotics in healthcare has entered a transformational era, opening up unprecedented opportunities to improve patient care, streamline processes, and empower healthcare professionals. This article explores the growing impact of AI-based robotics in healthcare, its various applications, benefits, challenges, and future prospects. We explore the role of AI-based robotics in medical diagnostics, surgery, rehabilitation, patient monitoring, and drug development. Artificial intelligence (AI) is significantly advancing robotics by enabling machines to perform complex tasks autonomously or with minimal human intervention. The integration of AI into robotic systems allows robots to perceive their environment, learn from experience, and adapt to new situations, thereby increasing efficiency and expanding the scope of applications.

Keywords — Society 5.0, inclusive society, telemedicine, smart technology, robotics, artificial intelligence

CYBER THREATS TARGETING HUMAN HEALTH AND THEIR DIGITAL FORENSICS

Sanan Valizada

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

senanvalizade@gmail.com

Abstract — This research presents a multi-component approach for detecting and analyzing digital threats to human health, specifically those related to leading to suicide, suicidal tendencies, cyberbullying, and emotional pressures. Within this approach, user behavior analysis through sentiment analysis based on natural language processing, social network graph models, and log file analysis has been explored. Using these models, it has been determined that it is possible to detect risky content with high accuracy and predict individual psychological states by calculating the Digital Risk Index (DRI). The system provides an effective tool for both preventive intervention and legal documentation.

Keywords — digital forensics; cyber threats; sentiment analysis; social network analysis; online psychological abuse.

SECTION II. SCIENTIFIC-PRACTICAL PROBLEMS OF THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MEDICINE”

EXPERT SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF HEPATOCELLULAR CARCINOMA

Masuma Mammadova¹, Nuru Bayramov², Zarifa Jabrayilova³, Minara Manafli⁴, Mehriban Huseynova⁵

^{1,3,4} Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

^{3,5} Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹*mmg51@mail.ru*, ²*nurubay2006@yahoo.com*, ³*djabrailova_z@mail.ru*, ⁴*minulya@rambler.ru*,

⁵*mehribanhuseynova9@gmail.com*

Abstract — The article presents the algorithm for developing an expert system that determines the stage of hepatocellular carcinoma (HCC)—the most prevalent malignant liver tumor—and provides this functionality in an accessible online environment. HCC is characterized by a multitude of clinical features, and the various combinations arising from the numerous possible values of these features correspond to one of the seven stages of HCC. The high number, complexity, and both quantitative and qualitative nature of the referenced parameters indicate that the staging of HCC occurs under conditions of uncertainty. This necessitates the development of a diagnostic system based on intelligent technologies. To this end, the article describes the formation of the components of the expert system—namely, the database, knowledge base, logical inference engine, and user interface module. The interaction of these components within a unified system and the decision-making algorithm are elaborated. Furthermore, the issue of integrating the diagnostic system—implemented in the C# programming language on the Visual Studio 2019 platform—with web technologies has been addressed to enable multiple physicians to make operational decisions simultaneously, regardless of time and location.

Keywords — hepatocellular carcinoma; diagnostic system; knowledge base; production model of knowledge representation; web technologies.

MEDICAL ISSUES IN THE CONTEXT OF SOCIAL STEREOTYPES AND NATIONAL MENTAL VALUES: FROM FOLK MEDICINE TO DIGITAL MEDICAL FOLKLORE

Hikmet Guliyev

Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Folklore, Baku, Azerbaijan

guliyevh@mail.ru

Abstract — In the article the theoretical and methodological aspects of the problem, which is a special direction of folklore, from the perspective of social-anthropological folklore studies and digital transformations are analyzed. The socio-anthropological approach to folklore allows to explore the dynamic, collective and cultural context of the concepts of “folk” and “knowledge”. Folk as a social group united on the basis of common interests and values create collective knowledge as a result of interaction with the environment. This knowledge is embodied in various fields of folklore such as folk crafts, folk music, folk dances and especially folk medicine. Folk medicine is a traditional method of treatment based on religious beliefs, empirical experience, collective memory and national mental values. This system of knowledge, unlike rational science, is based on beliefs and social stereotypes. For example, the phrases such as “it’s a shame”, “we can be disgraced among people” lead to the fact that the disease is hidden and treatment is delayed. It also shows the negative impact of public censure and conservative attitudes on health. At the same time, folk medicine is not only a cure for diseases, but also reflects the cultural identity of the ethnos, the worldview and the “comfortable” way of life. This form of medicine, based on empirical observations and numerous tests, remains relevant in modern times. Medicinal plants, which are a product of the nature of Azerbaijan, and folk experience in their use create a large database (“Big Data”), which can be analyzed using modern technologies and turned into the useful scientific results.

Keywords — folk medicine, digital medicine, medical folklore, social stereotypes, mental values, digital folklore.

A MULTIFUNCTIONAL AND MULTILINGUAL EDUCATIONAL SURGICAL PLATFORM FOR MEDICAL PROFESSIONALS

Nuru Bayramov¹, Aygun Ibrahimova², Ragif Ismayilov³, Agshin Pashayev^{4,3}

^{1,2}Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

^{3,4}Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹*nurubay2006@yahoo.com*, ²*aibrahimova@amu.edu.az*, ³*raqif.ismailov@gmail.com*, ⁴*pasayev_aqsin@mail.ru*

Abstract — Surgical Platform (www.baley.academy) is a multilingual, digital medical education platform created to enhance surgical training and clinical knowledge among medical professionals globally. This article explores the design, functionality, and educational potential of Surgical Platform, emphasizing its value in overcoming linguistic and regional barriers in medical learning. With its multilingual support in over eight languages and a broad range of content spanning anatomy, differential diagnosis, surgical procedures, and disease management the platform addresses the global need for accessible, structured, and high-quality medical education. This paper also discusses the potential of Surgical Platform in contributing to global surgical competency and calls for institutional partnerships to broaden its reach and credibility.

Keywords — Multilingual education; Surgical platform; Digital learning; Medical education; Anatomy; Diagnosis; Global health

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Gulchin Abdullayeva

Institute of Management Systems of MSERA, Baku, Azerbaijan

gulchinabdullayeva1947@gmail.com

Abstract — Image recognition is one of the main branches of artificial intelligence theory. Providing a universal solution for image recognition in computers is nearly impossible. However, the characteristic features of any image suggest that it follows certain patterns. This research examines medical diagnostics as a three-stage process, focusing on the study of closed subobjects based on complex images, which pertains to the earliest stages of diagnostics. For this purpose, a predictor concept is proposed for detecting closed or closure-prone contours (developments), along with three new indicators that characterize it. The research was conducted on 238 images obtained from Toshiba-SAL-38B ultrasound (USM). A software package was developed for image recognition. If a predictor is detected, its indicators are measured and documented. The monitoring frequency is determined by the physician.

Keywords — image recognition, USM, software package, predictor, indicator.

THE USE OF GENOMIC DATA IN MEDICINE: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

Mehraj Abbasov

Genetic Resources Institute of MSERA, Baku, Azerbaijan

mehraj_genetic@yahoo.com

Abstract — The integration of next-generation sequencing (NGS) technologies with bioinformatic approaches has led to revolutionary changes in genetic research, significantly expanding the use of genomic data in medical practice. This article provides a comprehensive overview of the clinical applications of NGS technologies, including the diagnosis of rare genetic and multifactorial diseases, pharmacogenetics, personalized treatment strategies, non-invasive prenatal testing, and targeted therapies in molecular oncology. It highlights the growing role of genetic data in medical decision-making, as well as the importance of artificial intelligence, deep learning, and other bioinformatic tools in processing large-scale genomic datasets. These approaches contribute substantially to early disease detection, individualized risk prediction, and the development of more effective treatment models.

Keywords — genome data, next-generation sequencing technologies, whole genome sequencing, exome sequencing, amplicon sequencing.

NEURAL NETWORKS FOR ACUTE LYMPHOBLASTIC LEUKEMIA DETECTION

Airam Curtidor¹, Tetyana Baydyk²

¹Universidad Nacional Rosario Castellanos, Mexico City, Mexico

²ICAT, UNAM, Mexico City, Mexico

¹curtidor.airam928@rcastellanos.cdmx.gob.mx, ²t.baydyk@icat.unam.mx

Abstract — We have developed and present here the method for the detection and classification of white blood cells using microscopic images of peripheral blood smears. It was proposed describing the images using brightness, contrast, and micro-contour orientation histograms. Each of these descriptions provides a coding of the image, which in turn provides n parameters. The extracted characteristics are presented to an encoder's input of the neural network. The encoder generates a high-dimensional binary output vector, which is presented to the input of the neural classifier. This paper presents the performance of one classifier, the Random Threshold Classifier (RTC). The classifier's output is the recognized class, which is either a healthy cell or an Acute Lymphoblastic Leukemia-affected cell. The proposed RTC achieved a recognition rate of 98.3 % when the data has partitioned in proportion: 80 % for training set and 20 % for testing set..

Keywords — RTC neural classifier; image processing; cell analysis; detection of white blood cells; leukemia classification

BRAIN TUMOR DIAGNOSIS BASED ON MEDICAL IMAGES USING VISION TRANSFORMER

Masuma Mammadova¹, Fargana Abdullayeva²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹mmg51@mail.ru, ²a_farqana@mail.ru

Abstract — One of the most common causes of death in modern times is brain tumor. Early and accurate detection of this disease can save the lives of a large part of the world's population. Accurate diagnosis and classification of brain tumors in patients is of great importance in determining effective treatment methods. In this paper, models based on ViT and multi-block convolutional neural networks have been developed, which provide high accurate detection and categorization of brain tumors in patients using magnetic resonance images. The proposed methods have been tested in medical image databases open for scientific research and evaluated based on various metrics. The main advantage of applying these models is that the feature extraction processes in images are carried out not by traditional segmentation methods, but by attention and filtration mechanisms.

Keywords — brain tumor; vision transformer (ViT); Magnetic Resonance Imaging; attention mechanism; CNN.

RESEARCH OF THE INCREASING DYNAMICS OF NEUROLOGICALLY BASED MENTAL DISORDERS WITH NEURAL NETWORKS

Nuran Abdullayev¹, Sahib Piriye², Javid Abbasli³

¹Department of Radiology and Neuroradiology, GFO Clinics Troisdorf, Academic Hospital of the Friedrich-Wilhelms-University Bonn, Troisdorf, Germany

^{2,3}Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

³Institute of Biomedical Engineering, Azerbaijan Technical University, Bakı, Azərbaycan

¹nuran.abdullayev@gfo-kliniken-troisdorf.de, ²sahib.piriye@aztu.edu.az, ³cavid.abbasli@aztu.edu

Abstract — This study models the increasing dynamics of neurologically based psychiatric disorders—namely depression, anxiety, and stress—using a system of stochastic differential equations. The proposed model accounts for the severity of psychiatric symptoms and incorporates key biological indicators affecting these symptoms, including neurotransmitter levels such as dopamine, cortisol, and gamma-aminobutyric acid (GABA). In the examined system of equations, the coefficients of the target functions represent the influence of hormonal levels on symptoms, the impact of stochastic factors, and feedback mechanisms. Using a multilayer artificial neural network, parameter values representing these coefficients were predicted with minimal error. The system of equations was numerically solved using the Euler–Maruyama method.

Keywords — neurology; system of stochastic differential equations; Euler–Maruyama numerical method; artificial intelligence; neural networks.

ALGORITHM FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR INITIAL TREATMENT SELECTION IN HEPATOCELLULAR CARCINOMA

Masuma Mammadova¹, Nuru Bayramov², Zarifa Jabraylova³, Minara Manaflı⁴, Mehriban Huseynova⁵

^{1,3,4}Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

^{2,5}Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹*mmg51@mail.ru*, ²*nurubay2006@yahoo.com*, ³*djabrailova_z@mail.ru*, ⁴*minulya@rambler.ru*,

⁵*mehribanhuseynova9@gmail.com*

Abstract — In this paper, an algorithm for the development of an intelligent system to support physician decision-making in the initial treatment selection of hepatocellular carcinoma (HCC)—which ranks 5th to 6th in terms of incidence among cancer diseases—is presented. HCC is characterized by a large number of parameters, and based on the clinical situations arising from the possible values of these parameters, the classic stepwise treatment approach involves options such as resection, transplantation, ablation, embolization, systemic therapy, and symptomatic care. The multiplicity, complexity, and both quantitative and qualitative nature of the input parameters make the selection of HCC treatment a problem that is difficult to formalize, thereby emphasizing the relevance of developing an intelligent system to address this challenge. To this end, the integration of expert knowledge, gathered from multidisciplinary medical boards, into the knowledge base of the intelligent system for personalized treatment selection in HCC has been accomplished. Furthermore, the operational principles and implementation algorithm of the system's architectural components have been developed.

Keywords — hepatocellular carcinoma; treatment selection; intelligent system for supporting medical decision-making; knowledge representation model.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF MULTIPLE SCLEROSIS

Fatima Aliyeva¹, Aytan Mammadbayli², Rana Shiraliyeva³

^{1,2}Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

³Azerbaijan State Institute of Advanced Training of Doctors named after A. Aliyev, Baku, Azerbaijan.

¹*faliyeva2@amu.edu.az*, ²*ayten2001@gmail.com*, ³*rana.shiraliyeva@gmail.com*

Abstract — Multiple Sclerosis (MS) is a chronic autoimmune disease characterized by heterogeneous clinical manifestations. In recent years, the application of Artificial Intelligence (AI) methods, particularly machine learning (ML) and deep learning (DL) techniques, has opened new opportunities for MS management. In this study, the potential of AI for MS diagnostics, treatment and prognosis is estimated. The research found that RNN models excel in long-term disease progression modeling by effectively capturing temporal sequences. Random Forest and XGBoost models accurately predict relapse risks and the probability of disease progression. The MindGlide platform accelerates MRI analysis, while CDSS facilitates the optimization of personalized treatment decisions. Biomarker-based models offer new avenues for early detection of the disease at the subclinical stage. Overall, hybrid model approaches integrating clinical, radiological, and molecular data present a promising pathway for personalized MS management and the development of early intervention strategies.

Keywords — Multiple Sclerosis, Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, MindGlide, Hybrid Models, Diagnosis, Prognosis.

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM.

Nazakat Gurbanova¹, Zaur Hajiyev², Gumru Abdullayeva³

²Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹*kurbanovang@hotmail.com*, ²*hajiyevza@gmail.com*, ³*g.abdullayeva.amu@gmail.com*

Abstract — Annatization-in order to ensure the formation of the "Electronic Government" in the Republic of Azerbaijan, digitization of healthcare is of particular importance. The implementation of a unified medical information system improves the information management and infrastructure of medical institutions and pharmacies in providing services to patients. In the medical information system, many modules work both autonomously and jointly. One of the relevant modules of the medical information system is the polyclinic information system. In addition, a number of mobile applications have been developed by the Center for Public Health and Reforms of the Ministry of Health of Azerbaijan, one of which is "Electronic prescription". The use of cloud technology and chatbot technology through mobile applications creates more efficient opportunities. These are data acquisition, increasing the effectiveness of knowledge bases, etc.

Keywords — artificial intelligence, pharmacy information systems, electronic document, electronic prescription, mobile medical application, database.

ABOUT THE APPLICATION OF BAYESIAN FORMULA IN THE PROGNOSIS AND DIAGNOSIS OF PATHOLOGICAL PROCESSES

Gorkhmaz Afandiyev

Institute of Management Systems of MSERA, Baku, Azerbaijan

g.afandiyev@mail.ru

Abstract — It is known that the application of mathematical tools and technologies in predicting pathological processes in order to optimize the diagnosis and treatment of diseases is a fairly important direction. Currently, various probabilistic-statistical methods are used in medicine to predict the occurrence and course of various pathological conditions. These methods help doctors and medical specialists make the right decisions in predicting various diseases. Statistical models also allow for a more individual approach to patients and increase their chances of survival. The article examines the application of the Bayesian formula in predicting medical pathological processes. The advantages of this method are shown, the methodology and algorithm for applying the prognostic model are given. Also, a real example of the application of the Bayesian formula is considered.

Keywords — pathological processes, prognosis, Bayesian formula, probabilistic-statistical methods

ALGORITHM FOR ENSURING CYBERSECURITY OF MEDICAL SOFTWARE SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS

Shafagat Mahmudova

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

shafagat@gmail.com

Abstract — The article develops an algorithm to ensure the cybersecurity of a medical software system (PS) based on artificial immune systems. An artificial immune system is an adaptive computing system that uses models, principles, mechanisms and functions used to solve problems in theoretical immunology. Its application to various fields of science is investigated. The role played by artificial immune systems for a software system is invaluable. Some literature in the field of artificial immune systems has been analyzed, and issues to be solved have been identified. The Bayesian method allows for accurate calculation of the probability of any event occurring under certain conditions. This is why the application of the Bayesian method to a medical software system using artificial immune systems is relevant. An algorithm has been developed for this purpose. The results of the experiments were satisfactory..

Keywords — artificial intelligence system; software system; defense systems; Bayesian method; harmful programs.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED SURVIVAL ANALYSIS FOR PATIENT LIFETIME PREDICTION

Masuma Mammadova¹, Farqana Abdullayeva²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹mmg51@mail.ru, ²a_farqana@mail.ru

Abstract — Protecting the health of the population and ensuring longevity are the main goals of the constantly developing healthcare and medicine. To achieve this goal, analysis of patient clinical trials, accurate prediction of disease diagnosis, and preliminary evaluation of treatment strategies are considered important factors in modern medical practice. Doctors use a wide range of methods and technologies in these processes. Survival analysis occupies a special place among them and is considered one of the effective methodologies in this field. The rapid digitalization of healthcare and medicine has created new opportunities for the application of innovative approaches and methods in more accurate prediction of patient survival. The article develops artificial intelligence-based survival analysis algorithms for predicting patient survival based on medical data. The effectiveness of the model was evaluated based on Concordance index and AUC metrics. Based on a comparative analysis of the algorithms, the Fast Survival SVM model was able to determine patient Lifetime with higher concordance index and AUC score. **Keywords**— survival analysis; artificial intelligence; Kaplan-Meier curve; Random Survival Forest; Concordance index, time-to-event data.

Keywords — survival analysis; artificial intelligence; Kaplan-Meier curve; Random Survival Forest; Concordance index, time-to-event data.

ANALYSIS OF THE STATE OF THE MEDICAL PERSONNEL POTENTIAL ON A COUNTRY WITH APPLICATION OF DATA SCIENCE, AND INTERNATIONAL COMPARISONS

Makrufa Hajirahimova¹, Aybeniz Aliyeva², Marziya Ismayilova³

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹hmakrufa@gmail.com, ²aliyeva.a.s@mail.ru, ³imarziya@gmail.com

Abstract — This paper analyzes the current state of medical personnel potential in Azerbaijan in terms of key health indicators, highlights the problems, and makes international comparisons. The effects of data science and analytics on advances in healthcare are examined. Modern technologies used by Data science in solving medical problems, such as artificial intelligence, Big data analytics, Machine learning, Deep learning, etc. are discussed, and a brief overview of existing scientific research is presented. The study also presents the results of the predictions based on a machine learning model for medical human resources on some medical indicators in Azerbaijan.

Keywords — healthcare; medicine; medical personnel; human resources; data science; data scientists.

SOLVING THE PREDICTION PROBLEM THROUGH THE IMPROVEMENT OF THE NATIONAL DATABASE ON HEPATOCELLULAR CARCINOMA USING THE MICE METHOD

Masuma Mammadova¹, Zarifa Jabrayilova³, Lala.Garayeva⁴, Mehriban Huseynova⁵

^{1, 2, 3}Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

⁴Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹mmg51@mail.ru, ²djabrailova_z@mail.ru, ³karayevalala.01@gmail.com, ⁴mehribanhuseynova9@gmail.com

Abstract — This article proposes a solution to the problem of predicting hepatocellular carcinoma (HCC) outcomes by addressing data gaps in the national registry database machine learning algorithms. The effective application of machine learning techniques for prediction requires the enhancement of the existing database and the imputation of missing data. In this study, the stages of imputing missing values in the national HCC database are presented using the MICE (Multiple Imputation by Chained Equations) method. To obtain clinical outcome predictions based on the national data, relevant portions of it were integrated with the HCC dataset available on the Kaggle platform, which includes known outcome labels (“death–0” or “survival–1”). The study then applied Random Forest and XGBClassifier machine learning algorithms on the extended dataset.

Keywords — hepatocellular carcinoma prediction; machine learning algorithms; missing data imputation; MICE.

TRAINING BIOMEDICAL AND MEDICAL INFORMATICS SPECIALISTS IN AZERBAIJAN

Nazaket Kerimli¹, Shahmerdan Amirov², Amina Aslanova³

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹nazaketkerimli3@gmail.com, ²phys_med@mail.ru, ³emineaslanova83@gmail.com

Abstract — Education in biomedical and health informatics plays a critical role in supporting modern healthcare systems, connecting medical practice with information technology, and meeting the growing digital demands of the healthcare sector. This paper examines the current state of biomedical and health informatics education both in Azerbaijan and around the world and offers recommendations for its future advancement. In order to investigate global trends and both domestic and international educational examples, we examined data from reports and articles. The thoughts of the experts were also used to discuss Azerbaijan's problems and potential solutions.

Keywords — Biomedical and health informatics, electronic health records, Europe set criteria, training of trainers.

APPLICATION OF SMART OLAP SYSTEMS IN DIGITAL MEDICINE: OPPORTUNITIES, CHALLENGES AND PROSPECTS

Gulnara Nabibayova¹, Lala Aliyeva²

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹gulnarara58@mail.ru, ²laleasirova@mail.ru

Abstract— The article analyzes the role, capabilities and problems of smart OLAP systems (Online Analytical Processing) in the digital medical environment. Digital medical standards are reviewed. It is noted that recently the volume of data and the number of data sources have increased significantly in all fields, including the medical field. In this regard, there is a need to use digital technologies such as Data Mining, blockchain and neural networks in digital medicine. The integration of OLAP systems with these technologies creates broad opportunities for effective analysis of multidimensional medical data, support for clinical decision-making and optimization of healthcare resources. Models of integration of OLAP systems with these technologies are shown, and a hybrid model integrating blockchain, Data Mining and neural network technologies is developed and presented.

Keywords — digital medicine; smart-OLAP; Data Mining; neural networks; blockchain

MEDICO-DEMOGRAPHIC IDENTITY OF TERRITORIAL UNITS IN HEALTH CARE 4.0

Masuma Mammadova¹, Zarifa Jabrayilova², Vagif Mammadaliyev³

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹mmg51@mail.ru, ²djabrailova_z@mail.ru, ³vagifmammadaliyev@gmail.com

Abstract — The article explores the problems of identifying the medical and demographic identity of territorial units in the healthcare 4.0 environment. The factors, shaping the territorial characteristics of medical and demographic processes are identified. An expanded interpretation of "human-centered approach" is proposed, adapted to the context of a specific territorial unit, individual characteristics and the social determinants of health. Through the lens of factors influencing the medico-demographic indicators of the population, such as human-centered approach, digitalization of health care and medicine, the authors present their conceptual views on potential solutions to the challenges of medico-demographic identity and medico-demographic security of territorial units. The article also highlights the specific nature of these challenges and methodological difficulties in its implementation. Methodological prerequisites based on the systemic approach are proposed for studying the medical and demographic situation of the territories.

Keywords — medical-demographic identity, territorial unit, conceptual approaches, environmental factors, human-centered approach.

DIGITAL ACTIVITY AND CHILDREN'S HEALTH: AN INTERDISCIPLINARY ANALYSIS

Sabira Ojagverdiyeva

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

allahverdiyevsabira@gmail.com

Abstract — The article reflects the benefits of children and adolescents using digital technologies for education, social relationships, and knowledge acquisition, as well as their potential effects on their physical and mental health and psychology. The risks arising from children's use of the Internet are analyzed from medical, psychological, and pedagogical aspects. Both positive and negative effects of digital activity on children's health are examined with an interdisciplinary approach. The article also explains the importance of ergonomic posture when using a computer to create a healthy digital environment for children and provides practical recommendations for their critical and informed interaction with digital tools, enabling them to navigate the online world safely and mindfully.

Keywords — child health; digital technologies; ergonomic posture; Internet

IMAGE RECOGNITION IN THE FIELD OF MEDICINE WITH THE HELP OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: POSSIBILITIES AND PROSPECTS

Ismayil Qafarov¹, Razi Aliyev², Shabnam Hajieva³

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹*dr.gafarov@hotmail.com* , ²*s.hajieva@amu.edu.az* , ³*ramzi.aliyev@amu.edu.az*

Abstract — In the article, the applications of artificial intelligence in the field of medical image recognition and the potential opportunities of this field were extensively analyzed. The analysis of medical images facilitates the work of doctors, especially in fields such as radiology, dermatology and pathology, allowing them to make faster and more accurate decisions. The application of artificial intelligence in the medical field leads to important revolutionary changes in the field of early detection of diseases, increasing the accuracy of diagnoses and more effective management of treatment processes. The article emphasizes the importance of the application of artificial intelligence in the field of medical image recognition and the advantages of this technology, such as earlier detection of diseases, reduction of misdiagnoses, saving time for doctors and personalization of treatment methods. Also, the fact that artificial intelligence helps to process and analyze medical data more effectively allows to improve the quality of healthcare services. Along with this, the article also discusses the difficulties encountered in the application of artificial intelligence in medicine. These challenges include important issues such as technology reliability, data security, and ethical issues. At the same time, there is a need to create new educational programs for the adoption of artificial intelligence by doctors and its use in clinical practice. In the future, with the wider application of artificial intelligence in medicine, the quality of healthcare services will increase, and the treatment of patients will be more effective and personalized.

Keywords — artificial intelligence, diagnosis, health technologies, doctors, health services, revolution in medicine.

AN ALGORITHM FOR DEVELOPING A PATIENT-CENTERED MEDICAL DIGITAL TWIN ON THE POWER BI PLATFORM

Masuma Mammadova¹, Zarifa Jabrayilova², Aytan Ahmadova³, Mehriban Huseynova⁴

^{1, 2, 3}Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

⁴Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

¹*mmg51@mail.ru*, ²*djabrailova_z@mail.ru*, ³*karayevalala.01@gmail.com*, ⁴*mehribanhuseynova9@gmail.com*

Abstract — This article presents the essence of digital twin technology and its architectural-technological principles. The stages of developing a digital twin of the human body at the level of organs and corresponding diseases are proposed, and a schematic representation of the virtual object has been developed. Power BI has been selected to visually demonstrate real-time updates of the virtual object based on changes occurring in the physical object. An algorithm for creating the digital twin based on medical data visualization is presented. A national database on cirrhosis diseases, compiled by medical professionals, has been used as a real data source. The control panel of the digital twin developed through this approach enables real-time monitoring of dynamic changes in examination results.

Keywords — digital technology; virtual object; patient-centered digital twin; visualization; Power BI; digital twin control panel

INTERNET ADDICTION PROBLEMS AND SOLUTIONS

Sabira Ojagverdiyeva

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

allahverdiyevasabira@gmail.com

Abstract — Interest and trust in the Internet are influencing the increase in the number of network users. Some people perceive virtual reality and the online environment as a means of temporary escape from the stress, problems, and difficulties of everyday life. However, this trend also actualizes a problem that negatively affects psychological and social well-being, such as Internet Addiction (IA). The article analyzes the main symptoms and various forms of IA, and examines its harmful effects on mental health and social well-being. In addition, international treatment and rehabilitation approaches applied to solving the problem are reviewed. Suggestions are made for including IA among public health priorities, preventing its complications, and developing effective intervention strategies.

Keywords — Internet addiction; Symptoms of Internet addiction; Mental Health; Screen time.

SENTIMENT ANALYSIS OF REVIEWS IN PATIENT-DRUG SEGMENTS ON SOCIAL MEDIA RESOURCES

Masuma Mammadova¹, Zarifa Jabrayilova², Nargiz Shikhaliyeva³

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

¹*mmg51@mail.ru*, ²*djabrailova z@mail.ru*, ³*shikhaliyeva.nara@gmail.com*

Abstract — The article examines the issue of detecting patient-disease-drug relationships based on sentiment analysis of patient reviews about drugs collected in the medical segment of social media. To analyze patient reviews about drugs, the Kaggle platform's *drugsComTest_raw.csv* medical database was used, lexicon-based sentiment analysis, statistical methods, and machine learning algorithms were applied. In the process of solving the problem, patient-disease, disease-drug, and patient-drug relationships were detected, and patient reviews on these relationships were analyzed step-by-step. Based on the reviews collected in the patient-drug segment of medical social media, issues such as which diseases patients most often resort to drugs for, and which drugs are most preferred for each disease were resolved. Based on the results obtained from the integration of these issues, public opinion on the effectiveness of drugs for various medical conditions (diseases) was identified.

Keywords — medical social media; sentiment analysis; machine learning; about medicines.

EMERGENCY MEDICAL SERVICES IN THE DIGITAL HEALTH 4.0 ENVIRONMENT: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND PROSPECTS

Anar Samidov

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

anarsamidov@gmail.com

Abstract — Emergency medical services are an integral part of any country's healthcare system, ensuring timely and professional assistance to individuals in critical conditions. In Azerbaijan, as in many countries, the development and operation of emergency medical services infrastructure is a priority. This article examines the transformation of the emergency medical care system under the impact of the Digital Medicine 4.0 concept. It analyzes key technologies and approaches such as telemedicine, artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), mobile technologies, including smartphones, tablets, mobile applications and new generation wearable smartwatches, biosensor integration, and big data, that are revolutionizing diagnostics, treatment, and management in emergency medical services. The benefits of implementing digital solutions, including diagnostic accuracy, personalized treatment, and resource optimization are discussed. Digital Medicine 4.0 improves EMS services not only from a technical perspective, but also in terms of management, decision-making, and patient satisfaction. Particularly, real-time data exchange, patient monitoring, and efficient resource allocation significantly enhance the quality of emergency medical services. Moreover, the article addresses.

Keywords — digital medicine 4.0, wearable devices, smart watches, biosensors, telemedicine, artificial intelligence, internet of things, big data, cyber-physical systems.

DEEP LEARNING METHODS FOR DISEASE PREDICTION BASED ON MEDICAL IMAGING

Filman Sadigov

Institute of Information Technology of MSERA, Baku, Azerbaijan

sadigovfilman@gmail.com

Abstract — Medical imaging is essential for the early detection and diagnosis of diseases. With the advancement of deep learning, accurate models have been developed to analyze 2D and 3D medical images. This paper reviews commonly used deep learning methods in radiology, including X-ray, CT, MRI, and ultrasound. It focuses on their applications in lesion detection, classification, and segmentation. Although these models often achieve expert-level accuracy, challenges such as limited data and lack of interpretability remain. Future progress is expected through explainable AI and integration of multimodal data.

Keywords — Deep learning, medical imaging, disease prediction, artificial intelligence, image analysis, segmentation.

TARGETED DRUG DELIVERY IN MEDICINE

Ismayil Gafarov, Narmin Alasgarova

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

dr.Gafarov@hotmail.com, *narmin_mammadova_95@mail.ru*

Abstract — Biophysics is a science that studies the physical properties of biological systems and cells, their structure, as well as molecular interactions and the mechanisms of biological processes. Biophysics investigates the structure of living systems, their functions, and interactions by applying the principles and methods of physics to biology. It is closely related to many fields of medicine, and modern medical science would not be complete without this knowledge. Biophysics plays an indispensable role in diagnostics, treatment, and the development of biotechnology. It covers the study of the structure and function of life's main molecules (proteins, DNA, RNA, etc.) as well as processes such as cell membranes, enzymatic reactions, energy transfer, and the propagation of nerve impulses. The main branches of biophysics include molecular biophysics, cellular biophysics, structural biophysics, bioenergetics, gamma and radiobiophysics, neurobiophysics, and computational and theoretical biophysics.

Keywords — biophysics, nanoparticles, targeted drug delivery.

“RƏQƏMSAL TİBB 4.0: PROBLEMLƏR, İMKANLAR VƏ PERSPEKTİVLƏR” II RESPUBLİKA ELMİ-PRAKTİKİ KONFRANSI KEÇİRİLDİ

Elm və Təhsil Nazirliyinin İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunda Səhiyyə Nazirliyi, Milli Məclisin Səhiyyə Komitəsi, Milli Onkologiya Mərkəzi, Azərbaycan Tibb Universiteti, İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Azərbaycan Texniki Universiteti və Biofizika İnstitutunun təşkilatçılığı ilə “Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər” II respublika elmi-praktiki konfransı keçirilib.

Tədbirdə ölkənin müvafiq dövlət qurumlarının rəhbərləri, ali təhsil müəssisələri, AMEA, həmçinin Elm və Təhsil Nazirliyinin elmi-tədqiqat institutlarının alim və mütəxəssisləri, KİV nümayəndələri iştirak edirdilər.

Konfransın məqsədi rəqəmsal transformasiya şəraitində Azərbaycanda generasiya olunan böyük həcmli rəqəmsal səhiyyə və tibb məlumatlarının toplanması, emalı və mübadiləsi, süni intellekt texnologiyaları əsasında müxtəlif təyinatlı tibbi informasiya sistemlərinin yaradılması və tətbiqi kimi bir çox elmtutumlu məsələlərin həlli zərurətinə diqqətin artırılması, Sənaye 4.0 çağırışları kontekstində ölkənin səhiyyə infrastrukturunun konseptual və arxitektur-texnoloji əsaslarının formalaşdırılması istiqamətində mövcud problemlərin, imkanların və perspektivlərin müzakirəsi üçün intellektual dialog platformasının təşkilindən ibarətdir.

Tədbirin açılış mərasimində AMEA-nın vitse-prezidenti, ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunun baş direktoru, akademik Rasim Əliquliyev çıxış edərək rəqəmsal tibb problemlərinə həsr olunmuş konfransın müvafiq sahədə aparılan tədqiqatlar, əldə olunan nailiyyətlər və mövcud problemlərin müzakirəsi, eləcə də yeni vəzifələrin müəyyənləşdirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyini söyləyib.

“Son zamanlar ölkəmizdə səhiyyə sahəsində rəqəmsallaşma prosesinin sürətlənməsi, rəqəmsal səhiyyə infrastrukturunun formalaşdırılması istiqamətində genişmiqyaslı layihələrin həyata keçirilməsi, yüksəkixtisaslı kadrların hazırlanması rəqəmsal tibb problemlərinə həsr olunmuş konfransın keçirilməsinin zəruri edirdi”, - deyərək alim bildirib.

IV Sənaye İnqilabı və süni intellektin təsiri ilə yaranan qabaqcıl texnologiyaların inkişaf etdirilməsinin dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən birinə çevrildiyini söyləyən akademik R.Əliquliyev, Cənab Prezident İlham Əliyev tərəfindən 2025-ci ildə bir neçə mühüm strateji sənədin qəbul edildiyini söyləyib. “Azərbaycan Respublikasında Rəqəmsal İnkişaf Konsepsiyası”, “Azərbaycan Respublikasının 2025–2028-ci illər üçün süni intellekt Strategiyası”nın alim və mütəxəssislərin qarşısına mühüm vəzifələr qoyduğunu nəzərə çatdırıb.

Müasir dövrdə global çağırışlar kontekstində süni intellektin tibbdə tətbiqi məsələsinin daha da aktuallaşdığını vurğulayan akademik R.Əliquliyev ölkəmizdə tibbi informatika, data elmləri, rəqəmsal səhiyyə, kibertəhlükəsizlik, rəqəmsal kriminalistika sahəsində yüksəkixtisaslı kadrların hazırlanmasının vacibliyini də önə çəkib.

AR səhiyyə nazirinin müavini, tibb elmləri namizədi, dosent Nadir Zeynalov konfrans iştirakçılarını Səhiyyə naziri Teymur Musayevin adından salamlayıb. Müasir dövrdə rəqəmsallaşmanın cəmiyyətin həyatının bütün sahələrinə nüfuz etdiyini qeyd edən dosent N.Zeynalov rəqəmsal həllərin tibb sahəsində sərhədsiz imkanlar açdığını və strateji əhəmiyyətə malik olduğunu, pasiyentlərə diaqnozun qoyulması, həkimə dəstək göstərilməsi və s. istiqamətlərdə geniş tətbiq olunduğunu vurğulayıb. Əlavə edib ki, rəqəmsal həllər, ekspert sistemləri müalicə üsulunun müəyyənləşdirilməsində yaranan çətinliklər zamanı bu sahədə toplanmış məlumatlardan istifadə etməklə həkimlərə qərarların qəbulu prosesində tövsiyələr verir.

Dosent N.Zeynalov ölkənin səhiyyə sistemində toplanan çoxsaylı, müxtəlif təyinatlı məlumatların Big Data əmələ gətirdiyini qeyd edərək bu resursların saxlanması, idarə olunması, konfedsiallığının təmin olunması və rəqəmsal şəkildə arxivləşdirilməsinin gələcək nəsillər üçün məlumat bazasının yaradılmasına imkan verdiyini diqqətə çatdırıb.

Hazırda Azərbaycanda bir çox sahələrdə rəqəmsal həllərin tətbiqi məsələlərinə böyük diqqətin ayrıldığını bildirən Nazir müavini xüsusən tibb sahəsində rəqəmsallaşmaya nail olmadan bir çox problemlərin həllinin mümkün olmadığını vurğulayıb.

Dosent N.Zeynalov həm tibb elmi, həm də informasiya texnologiyaları sahəsinin aktual elmi və praktiki problemlərinə həsr olunmuş konfransın tibb və İT sahəsinin alim və mütəxəssisləri üçün faydalı olacağına əminliyini ifadə edib, konfransın işinə uğurlar arzu edib.

AMEA-nın vitse-prezidenti, ETN Molekulyar Biologiya və Biotexnologiyalar İnstitutunun baş direktoru, akademik İradə Hüseynova çıxış edərək bu gün elm və texnologiyanın sürətli inkişafı ilə süni intellektin həyatın bütün sahələrinə nüfuz etdiyini deyib, həmin texnologiyaların tibbdə tətbiqi ilə bağlı müxtəlif təcrübələrdən bəhs edib. Akademikin sözlərinə görə, rəqəmsal tibbin əsas hədəflərindən biri də süni intellektin, rəqəmsal texnologiyaların bioinformatika, genomika və molekulyar mühəndisliklə sintezi məsələlərinin həllinə nail olmaqdan ibarətdir.

“Ölkəmizdə pasiyentlərin həm genetik, həm də tibbi məlumatlarının toplandığı sistemin yaradılmasına böyük ehtiyac duyulur”, - deyən akademik İ.Hüseynova, bu kimi sistemin tətbiqinin pasiyentlərin sağlamlıq problemlərinin daha dəqiq və tez bir zamanda həll edilməsi, səhiyyənin optimallaşdırılması, resurslardan daha səmərəli istifadə olunması üçün geniş imkanlar açdığını vurğulayıb.

AMEA-nın vitse-prezidenti rəqəmsal texnologiyaların tibbdə tətbiqinin etik və hüquqi məsələlərinə də toxunaraq ölkəmizdə hələ 1999-cu ildə akademik Cəlal Əliyevin rəhbərliyi ilə UNESCO yanında Bioetika, Elmi Biliklərin və Texnologiyaların Etikası üzrə Azərbaycan Milli Komitəsinin yaradıldığını xatırladı.

Akademik İ.Hüseynova son illər ETN və AMEA-ya daxil olan elmi müəssisə və təşkilatlarda rəqəmsal texnologiyalar, onların imkanlarının tədqiqi məsələlərinə böyük diqqətin ayrıldığını, çoxsaylı tədbirlərin keçirildiyini qeyd edib. “Bu gün elmi tədqiqat institutları, Səhiyyə Nazirliyinin elmi müəssisələri, eləcə də universitetlərin müvafiq kafedraları rəqəmsal texnologiyaların tibbdə tətbiqi istiqamətində analitik düşüncəyə malik

kadrların yetişdirilməsi baxımından səylərini birləşdirməli, səmərəli fəaliyyət göstərməlidir”, - deyərək AMEA-nın vitse-prezidenti vurğulayıb.

Tədbirdə çıxış edən səhiyyə nazirinin müşaviri Rüşad Hacıəlibəyov dövlətin prioritetlərindən birinə çevrilmiş cəmiyyətinin rəqəmsallaşması məsələsində qarşıya qoyulmuş məqsədlərə nail olmaq üçün rəqəmsal səhiyyənin vacib rol oynadığını diqqətə çatdırıb. Qeyd edib ki, bu vətəndaşların həyat keyfiyyətinin artmasına, həmçinin ölkənin sosial-iqtisadi vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasına təsir göstərən mühüm bir amil kimi Azərbaycan Respublikası Prezidenti cənab İlham Əliyev tərəfindən verilmiş müvafiq fərmanlarda öz əksini tapmışdır.

R.Hacıəlibəyovun sözlərinə görə, səhiyyədə idarəetmə effektivliyinin, həmçinin tibbi yardım keyfiyyətinin və əlçatanlığının artırılması məqsədlərinə nail olmaq üçün, müəyyən texnoloji həmlə və nəzərdə tutulmuş müddət ərzində irəliləyiş əldə etməyə imkan yaradan, son texnologiyalardan və innovativ yanaşmalardan istifadə etməklə səhiyyə proseslərinin mərhələli rəqəmsallaşmasına böyük tələbat vardır.

“Azərbaycanın artan regional rolu müvafiq dövlət orqanları qarşısında mövcud dinamikanın beynəlxalq reytinglərdə əks olunması ilə bağlı əhəmiyyətli vəzifələr qoyur”, - deyərək R.Hacıəlibəyov bildirib. Səhiyyə, elm, və texnoloji sahələrin nümayəndələrinin qarşılıqlı əlaqədə “Sağlam vətəndaş, sağlam cəmiyyət, güclü Azərbaycan” prinsipinə əsaslanaraq, əhəlinin sağlamlıq vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasına və səhiyyə sisteminin davamlı inkişafının təmin edilməsinə öz töhfəsini verəcəklərinə əminliyini ifadə edib.

Daha sonra çıxış edən AR Səhiyyə Nazirliyi Ə.Əliyev adına Azərbaycan Dövlət Həkimləri Təkmilləşdirmə İnstitutunun rektoru, professor Nazim Qasımov rəqəmsal texnologiyaların artıq bir neçə ildir tibb təhsil sistemində geniş tətbiq olunmağa başladığını və əhəmiyyətli töhfələr verdiyini qeyd edib. O, tibb üzrə kadrların yetişdirilməsində çoxpilləli sistemin tətbiq olunduğunu bildirərək müasir informasiya texnologiyalarının cərrahi prosesləri vizuallaşdırmaq baxımından geniş imkanlar açdığını diqqətə çatdırıb. Süni intellektin təhlükələrindən danışan Rektor tibdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin bir sıra peşələrin də sıradan çıxmasına səbəb ola biləcəyini də vurğulayıb. Qeyd edib ki, tibdə tətbiq olunan müasir texnologiyaları sistemləşdirməklə və təhlükələri aradan qaldıraraq düzgün istiqamətləndirməklə yüksək nəticələr əldə etmək mümkündür: “Hesab edirəm ki, tibb təhsilində bu innovativ üsulların tətbiqi daha da dərinləşməli və bu texnologiyalar geniş istifadə olunmalıdır”.

Azərbaycan Tibb Universitetinin tədris işləri üzrə prorektoru, professor Nazim Pənahov çıxış edərək tədbir iştirakçılarını universitetin rektoru, professor Gəray Gəraybəylinin adından salamlayıb. O, müasir dövrdə elmin və texnologiyanın sürətli inkişafının həyatın bütün sahələrinə, xüsusilə də səhiyyə sisteminə ciddi təsir göstərdiyini qeyd edib. Konfransın rəqəmsal tibbin aktual problemlərinin müzakirəsi və səmərəli əməkdaşlıq əlaqələrinin qurulması baxımından çox əhəmiyyətli platforma olduğunu diqqətə çatdırıb. Tibb Universitetinin rəqəmsal tibbin formalaşması istiqamətində müvafiq elmi qurumlarla əməkdaşlıq etməyə, birgə layihələr həyata keçirməyə hazır olduğunu qeyd edib.

Prorektor həmçinin Tibb Universitetində rəqəmsal texnologiyaların tədris prosesinə integrasiyası, tibb təhsilinin müasir çağırışlara uyğunlaşdırılması istiqamətində həyata keçirilən tədbirlər haqqında məlumat verib.

Konfransda həmçinin Azərbaycan Texniki Universitetinin tədris işləri prorektoru, professor Nurəli Yusifbəyli, Milli Onkologiya Mərkəzinin molekulyar-bioloqu, biologiya üzrə fəlsəfə doktoru Leylaxanım Məlikova, ETN Biofizika İnstitutunun baş direktoru, AMEA-nın müxbir üzvü Oktay Qasimov, ETN İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunun şöbə müdiri, AMEA-nın müxbir üzvü Məsumə Məmmədova, Azərbaycan Tibb Universiteti I cərrahi xəstəliklər kafedrasının müdiri, AMEA-nın müxbir üzvü Nuru Bayramov çıxış ediblər. Məruzəçilər konfransın rəqəmsal tibbin elmi-nəzəri və praktiki problemlərin həlli üçün yeni imkanların yaranması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb etdiyini bildiriblər.

Daha sonra akademik Rasim Əliquliyev çıxış edərək tədbirdə tibb sahəsində fəaliyyət göstərən alim və mütəxəssislərin süni intellekt, əşyaların Interneti, big data, rəqəmsal əkiz, o cümlədən fərdi məlumatların qorunması ilə bağlı müasir çağırışları ehtiva edən mülahizələrini yüksək qiymətləndirib.

“Ölkəmizin səhiyyə informasiya fəzasının və tibbi verilənlərinin kibersuverenliyinin qorunması, həmçinin bir hədəf olaraq rəqəmsal platformada əhalinin sağlamlığı üzrə milli observatoriyanın yaradılması müasir dövrün tələbidir”, – deyən alim bu istiqamətdə İKT və tibb mütəxəssislərinin birgə fəaliyyətinin zəruriliyini qeyd edib.

Akademik R.Əliquliyev həmçinin rəqəmsal səhiyyə sahəsində elmi-praktik fəaliyyətin koordinasiyasını təmin edə biləcək, mütəmadi fəaliyyət göstərən dialog platformasının yaradılmasının zəruriliyini önə çəkib: “Bu, rəqəmsal səhiyyənin inkişaf istiqamətləri, problemləri və prioritetlərinin müəyyənləşdirilməsi, birgə araşdırmaların aparılması baxımından son dərəcə vacibdir”.

Səhiyyə nazirinin müavini Nadir Zeynalov çıxış edərək konfransda səsləndirilən fikirləri yüksək qiymətləndirib, çıxışlarda qeyd olunan məsələlərin bu istiqamətdə gələcək perspektivlərin müəyyənləşdirilməsinə əhəmiyyətli töhfələr verəcəyinə inamını ifadə edib. Rəqəmsal həllərin inkişaf etmiş müxtəlif ölkələrin səhiyyə sistemlərində, tibbi araşdırma proseslərində tətbiq olunması təcrübəsinə tez-tez rast gəldiyini qeyd edərək milli səhiyyəimizin rəqəmsal əsaslarının yaradılması ilə bu istiqamətdə elmi tədqiqatların aparılmasına, statistik məlumatların toplanması və intellektual təhlilə geniş imkanlar açılacağına əminliyini vurğulayıb.

Daha sonra konfrans işini “Rəqəmsal tibbin formalaşmasının elmi-nəzəri problemləri” və “Tibbdə rəqəmsal texnologiyaların tətbiqinin elmi-praktiki problemləri” adlı seksiya iclasları ilə davam etdirib.

“Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər”

II respublika elmi-praktiki konfransının

Q Ə R A R I

Bakı şəhəri

23 may 2025-ci il

İnformasiya, kommunikasiya və Sənaye 4.0 texnologiyalarının tibbə tətbiqi bu sahənin inkişafı üçün yeni imkanlar açmış, geniş spektrli elmi-nəzəri və tətbiqi tədqiqatların inkişafına təkan vermiş, yeni Səhiyyə 4.0 paradigmasının formalaşmasına zəmin yaratmışdır. Səhiyyə 4.0 konsepsiyasının texnoloji və innovativ əsasını süni intellekt, əşyaların interneti, böyük verilənlər, sensorlar, bulud texnologiyaları, kiberfiziki sistemlər və s. təşkil edir. Bu texnologiyaların tibbə integrasiyası böyük həcmdə müxtəlif təbiətli tibbi məlumatların fasiləsiz generasiyasına, səhiyyə ekosisteminin formalaşmasına, tibbi xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılmasına və daha dəqiq tibbi qərarların qəbulunun dəstəklənməsinə yönəlmişdir.

Bu baxımdan 23 may 2025-ci il tarixində Azərbaycan Respublikası Səhiyyə Nazirliyi, Milli Məclisin Səhiyyə Komitəsi, Milli Onkologiya Mərkəzi, Elm və Təhsil Nazirliyinin İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Azərbaycan Texniki Universiteti və Biofizika İnstitutunun təşkilatçılığı ilə “Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər” II respublika elmi-praktiki konfransı mühüm əhəmiyyətə malikdir.

Konfransın keçirilməsində əsas məqsəd rəqəmsal transformasiya şəraitində Azərbaycanda generasiya olunan böyük həcmli rəqəmsal səhiyyə və tibb məlumatlarının toplanması, emalı və mübadiləsi, süni intellekt texnologiyaları əsasında müxtəlif təyinatlı tibbi informasiya sistemlərinin yaradılması və tətbiqi kimi bir çox elmi tutumlu məsələlərin həlli zərurətinə diqqətin artırılması, Sənaye 4.0 çağırışları kontekstində ölkənin səhiyyə infrastrukturunun konseptual və arxitektur-texnoloji əsaslarının formalaşdırılması istiqamətində mövcud problemlərin, imkanların müzakirəsi üçün intellektual dialog platformasının təşkilindən ibarət olmuşdur.

Konfransın əsas tematik istiqamətləri:

- Sənaye 4.0 çağırışları kontekstində ölkənin səhiyyə və tibb infrastrukturunun formalaşmasının elmi-texnoloji problemləri
- Səhiyyənin təşkili, müalicə və diaqnostika prosesində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi məsələləri
- Ölkə miqyasında fasiləsiz generasiya olunan böyük həcmli tibbi verilənlərin toplanması, intellektual emalı, etibarlı saxlanması, təşkili və idarə olunması problemləri
- Səhiyyə və tibb fəaliyyəti prosesində toplanan fərdi məlumatların mühafizəsi və kibertəhlükəsizliyinin təmin olunması problemləri

- Rəqəmsal transformasiyalar şəraitində ölkədə səhiyyə və tibb fəaliyyətinin normativ-hüquqi bazasının təkmilləşdirilməsi və inkişafı məsələləri
- Tibbi informatika və biotibbi mühəndislik sahəsində kadr hazırlığı problemləri.

Hibrid formatda (fiziki və İnternet üzərindən) keçirilən tədbirdə ölkənin aidiyyəti dövlət qurumlarının rəhbərləri, elm və ali təhsil müəssisələrinin nümayəndələri, alimlər və mütəxəssislər, gənc tədqiqatçılar, həmçinin media təmsilçiləri iştirak etmişlər.

Konfransın açılış mərasimində 11 məruzə, iki tematik seksiya iclaslarında isə 55 məruzə, o cümlədən 49-u ölkəmizdə müvafiq istiqamətlər üzrə tədqiqatlar aparan təşkilatlardan, digərləri isə ABŞ, Almaniya və Meksikanın aparıcı universitetlərini təmsil edən nüfuzlu alimlər tərəfindən təqdim edilmiş, çox əhəmiyyətli təkliflər və tösiyələr irəli sürülmüşdür. Bu ideyalar və baxışlar ümumiləşdirilərək qərara alındı:

- Ölkə miqyasında rəqəmsal səhiyyə və tibbin formalaşması sahəsində aparılan elmi-nəzəri və praktiki araşdırmaların əlaqələndirilməsi, aktual problemlər və prioritetlərin müəyyənəndirilməsi, zəruri təklif və tövsiyələrin işlənilməsi məqsədi ilə AR Səhiyyə Nazirliyinin rəhbərliyi altında kollegial müzakirə platformasının (şura, komissiya, işçi qrup və s.) yaradılması məqsədəuyğun olardı;
- Rəqəmsal texnologiyaların səhiyyədə və tibbi fəaliyyətdə sürətlə və geniş tətbiqini nəzərə alaraq tibbi informatika, data elmləri, biotibbi mühəndislik və s. ixtisaslar üzrə kadrların hazırlanması istiqamətində təxirəsalınmaz tədbirlərin həyata keçirilməsi tövsiyə olunsun;
- Sənaye 4.0 texnologiyaları əsasında kliniki tibbdə və tibbi təhsildə müxtəlif təyinatlı intellektual informasiya sistemlərinin, o cümlədən müalicə, diaqnostika, proqnoz, profilaktika, monitoring üzrə qərarların qəbulunu dəstəkləyən intellektual sistemlərin işlənməsində multidissiplinar elmi-tədqiqat və tətbiqi işlərin aparılması məqsədəuyğun hesab olunsun;
- Ölkəmizdə formalaşmaqda olan rəqəmsal dövlət mühitinin tərkibində bir ekosistem kimi, səhiyyə və tibbi fəaliyyətə dair verilənlərin toplanması, etibarlı saxlanması, çoxtəyinatlı intellektual təhlillərin aparılması, həmçinin onların kibertəhlükəsizliyinin və data suverenliyinin təmin edilməsi, strateji məqsəd olaraq süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi ilə əhalinin sağlamlığı üzrə rəqəmsal observatoriyanın yaradılmasının elmi-konseptual və arxitektur-texnoloji əsaslarının işlənilməsi üçün kompleks tədbirlərin həyata keçirilməsi tövsiyə olunsun;
- Rəqəmsal transformasiyaların dinamik xüsusiyyətlərini, həmçinin ölkə səviyyəsində bu istiqamətdə qəbul edilmiş qərarları, dövlət siyasətindən irəli gələn vəzifələri rəhbər tutaraq rəqəmsal səhiyyə və tibb problemlərinə həsr olunmuş elmi konfransın 2-3 ildən bir keçirilməsi xahiş olunsun.

Texniki redaktorlar:

Anar Səmidov
Zülfüyyə Ələkbərova

Korrektor:

Minarə Manaflı

Kompüter tərtibatı:

Rəna Gözəlova

Dizayner:

Əfsanə Xanlarova

Çapa imzalanmışdır: 10.07.2025. Çap vərəqi: 60x84, $\frac{1}{8}$

Sifariş № 35, sayı 100 ədəd.
