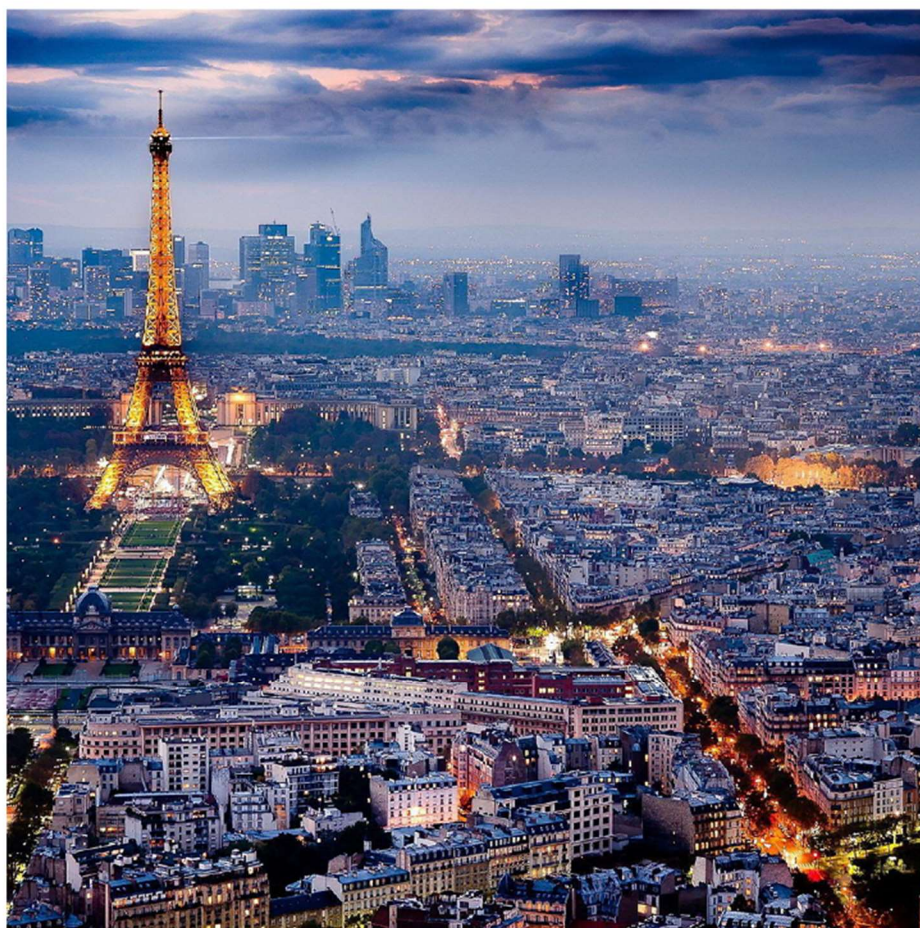


publisher.agency  
**France**

May, 2026

**No 13**



Paris, France

**14-15.05.2026**

International  
Scientific  
Conference

**World**  
**Scientific Reports**

UDC 001.1

P 97

Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «World Scientific Reports» (May 14-15, 2026). Paris, France, 2026. 600p



ISBN 978-2-209-29247-9

DOI 10.5281/zenodo.20275060

**Editor: Pauline Barbier, Professor, Paris Cité University**

**International Editorial Board:**

**Adrien Chabot**

Professor, Aix-Marseille University

**Gabrielle Bourhis**

Professor, University of Angers

**Juliette Guerin**

Professor, University of Artois

**Florian Dufour**

Professor, Avignon University

**Julie da Silva**

Professor, University of Bordeaux

**Charlotte Huart**

Professor, University of Burgundy

**Salomé Bonnet**

Professor, University of Caen Normandy

**Léonard Durand**

Professor, Clermont Auvergne University

**Elsa Blanchard**

Professor, University Pasquale Paoli

**Faustine Martin**

Professor, Côte d'Azur University

**Mélissa Melgares**

Professor, University of Franche-Comté

**Judith Guillaume**

Professor, University of French Guiana

**Juliette Bourhis**

Professor, Gustave Eiffel University

**Madeleine Colin**

Professor, Jean Monnet University

**editor@publisher.agency**

**<https://publisher.agency/>**

## Table of Contents

### Pedagogical Sciences

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DIGITALIZATION OF FESTIVE EVENTS IN PRESCHOOL EDUCATION: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS .....            | 8  |
| <i>YESSEMURATOVA D.ZH.</i><br><i>BAIKULOVA A.M.</i>                                                            |    |
| TRANSFORMATION OF UNIVERSITY DIDACTICS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NAVIGATING LEARNING .....        | 24 |
| <i>ZHUMASHEVA S.S.</i>                                                                                         |    |
| THE INFLUENCE OF SCRIPTED GAME TASKS ON FUNCTIONAL LITERACY IN TEACHING BIOLOGY .....                          | 40 |
| <i>DILMURAT AIZHANAR</i><br><i>ANARGUL SAILAUBEKOVNA SHARIPKHANOVA</i>                                         |    |
| БІЛІМ БЕРУДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ ЭТИКАЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРІ .....                        | 49 |
| <i>СМАНОВА УЛДАНАЙ КАЛДЫБАЕВНА</i>                                                                             |    |
| CONCEPTUALIZATION AND TERMINOLOGIZATION OF PROBLEM BASED LEARNING IN EDUCATION .....                           | 52 |
| <i>БАЙКЕЕВА ДИНА КАДЫРЖАНҚЫЗЫ</i><br><i>ХАЙРЖАНОВА А.Х.</i>                                                    |    |
| THE SECRET OF HEALTHY LIVING: AN ACADEMIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND PRACTICAL APPROACHES .....                | 58 |
| <i>MAZANOV İBRAHİM MEHRƏLİ OĞLU</i><br><i>MÜRSƏLOVA SEVDA PAŞA QIZI</i><br><i>BAKIXANOVA AYTƏKİN FUAD QIZI</i> |    |
| ЖЕКЕ ОҚЫТУ ДӘУІРІ: ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘР ОҚУШЫҒА АРНАЛҒАН МҰҒАЛІМ БОЛА АЛА МА? .....                            | 63 |
| <i>ЯХЬЯЕВ НУРСҰЛТАН МУХИТОВИЧ</i><br><i>БРИМЖАНОВА С. С.</i>                                                   |    |
| БІЛІМ БЕРУ ҮДЕРІСІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ .....                                      | 68 |
| <i>СМАНОВА УЛДАНАЙ КАЛДЫБАЕВНА</i>                                                                             |    |
| THE ROLE OF INNOVATIVE METHODS IN TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE .....                                 | 71 |
| <i>NARMINA SHARIFOVA</i>                                                                                       |    |

### Economic Sciences

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BUILDING A SUSTAINABLE FINANCIAL SYSTEM: A CASE STUDY OF AZERBAIJAN'S NASCENT GREEN BOND MARKET .....                                         | 76  |
| <i>HALIMA SADIQOVA</i>                                                                                                                        |     |
| ДИАГНОСТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ И МОТИВАЦИИ У УДАЛЁННЫХ СОТРУДНИКОВ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ИЗМЕРЕНИЯ .....           | 87  |
| <i>ЯНЫШЕВА НАЙЛЯ САПАРГАЛИТОВНА</i>                                                                                                           |     |
| SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY FOR CHINESE INFRASTRUCTURE FIRMS IN CENTRAL ASIA.....                                                        | 95  |
| <i>TIAN QI</i>                                                                                                                                |     |
| EVALUATION OF THE IMPACT OF PREVALENT RISKS IN THE REAL ESTATE DEVELOPMENT INDUSTRY: A COMPARATIVE STUDY OF THE USA, UK, AND AZERBAIJAN ..... | 106 |
| <i>PARVIN MURADLI</i>                                                                                                                         |     |
| ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В КАЗАХСТАНЕ: НА ПРИМЕРЕ ТОО 'АНПЗ' .....                                                            | 115 |
| <i>БЕККАЛИЕВ МУХАММАД БАУЫРЖАНУЛЫ</i><br><i>МАГАЙ ТАТЬЯНА</i>                                                                                 |     |
| BUSINESS EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF THE IMPLEMENTATION OF FINANCIAL DIGITAL TECHNOLOGIES.....                                               | 123 |
| <i>LIU JIANHONG</i><br><i>DOSZHAN RAIGUL</i>                                                                                                  |     |
| PSYCHOLOGICAL UTILITY AND PREFERENCE FORMATION IN IMMERSIVE CONSUMPTION: A BEHAVIORAL ECONOMIC STUDY BASED ON FLOW EXPERIENCE .....           | 129 |
| <i>LIU RUBING</i><br><i>ABINOVA ALFIYA</i>                                                                                                    |     |
| EFFECTIVE INCENTIVE STRATEGIES FOR GENERATION Z EMPLOYEES: AN ANALYSIS OF NEEDS AND PRACTICAL SOLUTIONS .....                                 | 138 |
| <i>SU ZIHAO</i><br><i>KUPESHOVA SAULE</i>                                                                                                     |     |
| XARICI VALYUTA MƏZƏNNƏLƏRİNİN İDARƏ OLUNMASI VƏ MAKROİQTİSADI SABİTLİYƏ TƏSİRİ.....                                                           | 145 |
| <i>AXUNDLU MUSA ARIF OĞLU</i>                                                                                                                 |     |
| RƏQƏMSAL TRANSFORMASIYA ŞƏRAITİNDƏ ELEKTRON DÖVLƏT VƏ ELEKTRON DEMOKRATIYA .....                                                              | 151 |
| <i>ŞİRİN ƏHMƏDOV QURBANOVİÇ</i>                                                                                                               |     |

### Agricultural Sciences

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДЕНСАУЛЫҚТЫ ЖАҚСARTУҒА ЖӘНЕ ТАМАҚТАНУҒА БАЙЛАНЫСТЫ АУРУЛАРДЫҢ АЛДЫН АЛУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ФЕРМЕНТТЕЛГЕН КҮРІШ КЕБЕГІМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ НАН-ТОҚАШ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫН ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕУ ..... | 158 |
| <i>УМЬЯНОВА САУЛЕ ЖУМАГЕЛЬДИЕВНА</i><br><i>КИЗАТОВА МАЙГУЛЬ ЖАЛЕЛОННА</i><br><i>КЕНЖЕХОДЖАЕВ МАХАМЕДКАЛИ ДОСМАНОВИЧ</i>                                                                                      |     |
| PAXLALI DƏNLƏRİN UNUNDAN İSTİFADƏ EDƏRƏK ÇÖRƏK-BULKA MƏMULATLARININ QİDALILIQ DƏYƏRİNİN ARTIRILMASI .....                                                                                                    | 162 |
| <i>KƏRİM AĞALARLI</i><br><i>TƏRANƏ AĞAYEVA</i>                                                                                                                                                               |     |

## Technical Sciences

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| İNKİŞAF ETMƏKDƏ OLAN ÖLKƏLƏRİN DÖVLƏT İDARƏÇİLİYİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT: ƏSAS PROBLEMLƏR, RİSKLƏR VƏ İMKANLAR — AZƏRBAYCAN, GÜRCÜSTAN, QAZAXISTAN VƏ HİNDİSTANIN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ ..... | 168 |
| <i>MƏMMƏDLİ MƏTİN ZAUR</i>                                                                                                                                                            |     |
| SÜNİ İNTELLEKT İLƏ İNTEQRASIYA OLUNMUŞ AĞILLI COĞRAFI İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİ: FORMALAŞMA İSTİQAMƏTLƏRİ, TƏTBİQ SAHƏLƏRİ VƏ İDARƏETMƏ ÇAĞIRIŞLARI .....                                | 173 |
| <i>GÜLTƏN MƏHƏRRƏMLİ NAİB</i>                                                                                                                                                         |     |
| DEVELOPING RECIPES FOR FUNCTIONAL TOMATO SAUCES ENRICHED WITH NATURAL VEGETABLES .....                                                                                                | 181 |
| <i>KANATULY D.<br/>SYZDYKOVA L.</i>                                                                                                                                                   |     |
| RESEARCH AND COMPARATIVE ANALYSIS OF INNOVATIVEBUSINESS PROCESS AUTOMATION SYSTEMS USING AI .....                                                                                     | 184 |
| <i>ASSEL ABDILDAYEVA<br/>ASSEM BAIGARA<br/>JELENA CAIKO</i>                                                                                                                           |     |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ САЛАТНЫХ КОНСЕРВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОБОВЫХ КУЛЬТУР .....                                                                                                | 194 |
| <i>СЫЗДЫКОВА ЛАЙЛА САЙЛАУОВНА<br/>ШАМБУЛОВА ГУЛЬНАР ДОСАНБЕКОВНА<br/>АБДИЕВА КАРЛЫГАШ МАМЫТБЕКОВНА<br/>КЕНГЕСОВА ӘЛИЯ ЖУМАБАЙҚЫЗЫ</i>                                                 |     |
| GRAPH AUTOENCODER-BASED CLUSTERING OF URBAN MOBILITY ZONES: SCALABILITY VALIDATION AND CROSS-CITY ANALYSIS ON CHICAGO AND NEW YORK CITY .....                                         | 199 |
| <i>ABYLAI AYAN AZAMATULY</i>                                                                                                                                                          |     |
| კავკასიური დეკას ფოთლები – ‘მატეს’ ტიპის ჩაის მიღების ალტერნატიული ნედლეული და მისი ტექნოლოგია .....                                                                                  | 208 |
| <i>თაბარ კოპალაიძე</i>                                                                                                                                                                |     |
| DIGITAL TRANSFORMATION OF METROLOGICAL SUPPORT IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE, PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS .....                                                 | 221 |
| <i>KAZANGELDINA ZHANNA BAKHYTZHANOVNA<br/>TANGATAR ASSEL MAKSATKYZY<br/>YESSERKENOV AKBOLAT BEKBOLATULY</i>                                                                           |     |
| ACA MAŇYZDY İNFRAŇYRYLYMDARDAFY DEREKTERDİ QORFAUFA ARNALFAN İNTELLEKTUALDY DLP JUYİESİNIŇ ARHITEKTURASY MEN TIİMDİLİĞİN BAĖALAŇ .....                                                | 225 |
| <i>SEITKALI GAZIZ TALGATULY</i>                                                                                                                                                       |     |
| ПРИНЦИП НАМЕРЕННОЙ ДЕФЕКТНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ УЧЕБНЫХ СРЕД ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ .....                                                                               | 231 |
| <i>ШИНГИЗОВ АЗАМАТ АЙБЕКОВИЧ<br/>АУЕЛБЕКОВ О. А.</i>                                                                                                                                  |     |
| MÜƏSSİSƏNİN İNFORMASIYA TƏHLİKƏSİZLİYİNİN TƏMİN EDİLMƏSİNDƏ MÜASİR TEXNOLOGİYALARIN ROLU.....                                                                                         | 235 |
| <i>NAHID HÜSEYNLI NATIQ OĞLU<br/>ƏSGƏROVA BAHAR</i>                                                                                                                                   |     |
| ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....                                                                                                               | 240 |
| <i>ДЖУСУПОВА Д. Б.<br/>АРМИДИНОВА Ю.Н.</i>                                                                                                                                            |     |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОВОЩНОЙ И РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ЕАЭС .....                                                                             | 247 |
| <i>ШЕПЕН ЖАНСАЯ КЕНЖЕГАЛИҚЫЗЫ<br/>ТАЖИГОСОВА ДИЛЬНАЗ БОЛАТБЕКҚЫЗЫ<br/>ИБРАИМОВА САНИЯ ЕРБОЛАТОВНА</i>                                                                                 |     |
| APPLICATION OF OPTIMAL DECISION-MAKING MODELS IN ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF CYBERSECURITY RISKS.....                                                                                | 251 |
| <i>SEVINI KARIMOVA<br/>TURKAN BASHIRLI</i>                                                                                                                                            |     |
| SÜNİ İNTELLEKT TEXNOLOGİYALARININ KOMPÜTER SİSTEMLƏRİNİN İNKİŞAFINA VƏ SƏMƏRƏLİLİYİNƏ TƏSİRİ .....                                                                                    | 257 |
| <i>QƏNİRƏ V. NAMAZOVA</i>                                                                                                                                                             |     |
| МАЛАЯ ГЭС НА КАРАТОМАРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ .....                                                                                                                   | 265 |
| <i>ЖУМАНОВ МУХТАР</i>                                                                                                                                                                 |     |
| НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ АКВЕДУКА И ОТСТОЙНИКА.....                                                                                                                                          | 271 |
| <i>ИНКАРБЕКОВ НУРЛАН ОМАРАЛИЕВИЧ</i>                                                                                                                                                  |     |
| ЕСИЛЬСКИЙ КОНТРРЕГУЛЯТОР НА РЕКЕ ЕСИЛЬ В АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ.....                                                                                                                     | 276 |
| <i>МАКУЩЕНКО ИГОРЬ</i>                                                                                                                                                                |     |
| ҚАР ЖӘНЕ МҰЗ ҚАБАТЫНЫҢ КҮЙІ МЕН КЕТУІНІҢ ЖӘНЕ ТАСҚЫН СУЫ ӨТУІНІҢ ЖАҒДАЙЫНА ЖЕДЕЛ ҒАРЫШТЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮРГІЗУ .....                                                                    | 283 |
| <i>МЫҢЖАСАРОВ Н.С.</i>                                                                                                                                                                |     |
| ARTIRIMIŞ REALLIQ TEXNOLOGİYASININ SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNƏ İNTEQRASIYASI: AZƏRBAYCAN NEFT-QAZ, ENERGETIKA VƏ KİMYA SEKTORLARI ÜZRƏ EMPIRİK TƏDQIQAT .....                               | 291 |
| <i>QƏNİ MEHMAN OĞLU AXUNDOV<br/>VALIDƏ XANKIŞI QIZI MAHMUDOVA</i>                                                                                                                     |     |



|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AZƏRBAYCANDA TƏCHİZAT ZƏNCİRİNİN OPERATİV İDARƏETMƏSİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ: TƏHLİL VƏ MODELLEŞDİRMƏ .....                              | 298 |
| <i>SAMIR NAMIQ OĞLU MƏMMƏDOV</i><br><i>VALEH ALQULUYEV ALQULU OĞLU</i>                                                                  |     |
| SECURITY RISKS OF CONFIGURATION ERRORS IN CLOUD ENVIRONMENTS .....                                                                      | 304 |
| <i>HASANAGHA SAFAROV ELSHAN</i>                                                                                                         |     |
| SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI MOBİL ŞƏBƏKƏLƏRDƏ RADIO RESURLARININ VƏ ÖTÜRMƏ GÜCÜNÜN OPTİMALLAŞDIRILMASI .....                                  | 313 |
| <i>İLHAM DURSUN OĞLU ƏFƏNDİYEV</i><br><i>ELVIRA ELGAR QIZI KƏLƏŞOVA-MAGISTR</i>                                                         |     |
| РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ .....                   | 317 |
| <i>НАБИЕВ ЖАНДОС БОЛАТОВИЧ</i>                                                                                                          |     |
| STATISTICAL ANALYSIS AND MACHINE LEARNING FORECASTING FOR THE FUEL AND ENERGY BALANCE OF KAZAKHSTAN (2019–2025) .....                   | 323 |
| <i>GABIT SEKENOV</i><br><i>SABIT ABZAL</i><br><i>NURKHAT ZHAKIYEV</i>                                                                   |     |
| İNFORMASIYA TƏHLÜKƏSİZLİYİNDƏ RİSKLƏRİN İDARƏ OLUNMASI.....                                                                             | 337 |
| <i>İBADOVA SƏBİNƏ NADIR</i><br><i>QURBANOV FIRUZ ƏHMƏD</i>                                                                              |     |
| METHODS OF CALCULATION OF UAV FLIGHT MODE ALONG AN ARBITRARY TRAJECTORY SAVING ENERGY RESOURCES.....                                    | 341 |
| <i>AZAMAT BEKMUKHANBET</i>                                                                                                              |     |
| РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ .....         | 356 |
| <i>ЛЕСОВ РАФХАТ УЗАКБАЙУЛЫ</i><br><i>АЛИМКУЛОВА ДЖАННА РЫСКУЛЛОВНА</i>                                                                  |     |
| ЭЛЕКТРОНДЫҚ БИЗНЕС ПЕН ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫҢ ҚАЗІРГІ ҚОҒАМДАҒЫ РӨЛІ.....                                                                 | 366 |
| <i>АКЖОЛОВА А.И.</i><br><i>КЕРІМБАЕВА В.Ж.</i><br><i>АЙТБАЕВА Р.Б.</i><br><i>ТАЛПАКОВА Б.Ә.</i>                                         |     |
| DÖVLƏTİN KİBERSUVERENLİYİ: NƏZƏRİ ƏSASLAR, RİSKLƏR VƏ İDARƏETMƏ MEXANİZMLƏRİ.....                                                       | 370 |
| <i>MAHMUD MIRZƏZADƏ MÜSFIQ</i><br><i>FƏHMIN HÜSEYNOV CEYHUN</i><br><i>FUAD MƏCİDZADƏ ELÇİN</i>                                          |     |
| KRİTİK İNFORMASIYA İNFRASTRUKTURLARINDA KİBERSUVERENLİK RİSKLƏRİNİN RİYAZİ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ DAYANIQLILIQ MODELİNİN QURULMASI ..... | 383 |
| <i>RƏSUL QURBANOV RAFƏT</i><br><i>ZIYA QƏDİMLİ HİKMƏT</i>                                                                               |     |

## Chemical Sciences

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PREPARATION OF A COMPOSITION BASED ON PE FILLED WITH MINERAL COMPOUNDS AND MODIFIED WITH PVC ..... | 394 |
| <i>IRADE ABDULLAYEVA GURBAN</i><br><i>RAMIN PENAHOV RAMIZ</i>                                      |     |
| STUDY OF THE MECHANISM OF OXYCHLORINATION OF ETHYLENE-PROPYLENE ELASTOMER .....                    | 399 |
| <i>DR AYRALOVA TAMARA</i><br><i>YUSIFLI NAZAKAT SABUHI</i>                                         |     |
| INVESTIGATION OF THE OXIDATIVE CHLORINATION PROCESS OF BUTYLENE-BASED ORGANIC COMPOUNDS.....       | 404 |
| <i>TAMARA AYRALOVA</i><br><i>ZAHRA SULEYMAN KAZYMBEKOVA</i>                                        |     |

## Political Studies

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| КОНСТИТУЦИОННАЯ РЕФОРМА 2026 ГОДА: МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛНОМОЧИЙ КУРУЛТАЯ КАК ВЫСШЕГО ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ..... | 408 |
| <i>ЛУЗАНОВ В.А.</i><br><i>КАБДИЙ Н.Г.</i><br><i>КЕНЖЕБУЛТОВА А.М.</i>                                                  |     |
| ПРЕОДОЛЕНИЕ КОРРУПЦИИ В КАЗАХСТАНЕ: УРОКИ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА И НАЦИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА.....                           | 412 |
| <i>ЛУЗАНОВ В.А.</i><br><i>КАБДИЙ Н.Г.</i><br><i>КЕНЖЕБУЛТОВА А.М.</i>                                                  |     |
| BETWEEN KNOWLEDGE AND POWER: THE EVOLVING NEXUS OF SCIENCE, ECONOMY, AND GOVERNMENT IN THE CONTEMPORARY WORLD.....     | 415 |
| <i>АКХИМЕТ ЕЛМИРА</i><br><i>КХАИРУЛЛАЕВА ВЕНЕРА</i>                                                                    |     |

## Psychological Sciences

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| THE ROLE OF AI (ARTIFICIAL INTELLIGENCE) IN MODERN EDUCATION SYSTEM ..... | 422 |
| <i>NARGIZ FIRDOVSI SULTAN</i>                                             |     |

## Medical Sciences

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ТРУДНОСТИ ДИАГНОСТИКИ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ МЕТАСТАТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПОД МАСКОЙ ТИА .....                                                                        | 425 |
| <i>ГЕОРГИ ДАДИАНИ</i>                                                                                                                                                            |     |
| INTEGRATING CLINICAL PHARMACOLOGY AND HOSPITAL PHARMACY IN ONCOLOGY: ADVANCES IN CHEMOTHERAPY, TARGETED THERAPY AND ANTICANCER DRUG DEVELOPMENT .....                            | 435 |
| <i>ARMAN KHOZHAYEV<br/>DANIYAR MURAT<br/>AKSULTAN ADAY<br/>ASSEL BAYAZITOVA<br/>ALUA ASHIROVA<br/>AYZAT NAMET<br/>SABIRA DUKENBAY<br/>NURSULTAN NAURYZBAY<br/>GAUKHAR ABLASH</i> |     |
| A MULTIMODAL APPROACH TO ALZHEIMER'S DISEASE CLASSIFICATION USING CLINICAL AND MRI DATA.....                                                                                     | 450 |
| <i>BANU MAMMADOVA<br/>HAKAN KUTUCU</i>                                                                                                                                           |     |

## Physical and Mathematical Sciences

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| МЕКТЕП МАТЕМАТИКА КУРСЫНДА САНДАРДЫ ЖУЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНЫСТАРЫ ..... | 462 |
| <i>БӨРІБАЙ ҒАЛЫМЖАН САБИТУЛЫ</i>                                                                 |     |
| TERMoeLEKTRON EMISSIYASINDA DOYMA CƏRƏYANININ KVANT – MEXANİKİ TƏSVİRİ .....                     | 466 |
| <i>CƏFƏROVA A.V.<br/>ORUCOV A.K.</i>                                                             |     |

## Philological Sciences

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ИЛИЯС ЖАНСҮГІРОВТИҢ 'ҚҰЛАҒЕР' ПОЭМАСЫНДАҒЫ ҰЛТТЫҚ ДӘСТҮРЛЕР, НАНЫМ-СЕНІМДЕР ЖӘНЕ МИФОЛОГИЯЛЫҚ МОТИВТЕРДІҢ КӨРКЕМДІК-ТІЛДІК ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ .....                                      | 468 |
| <i>TURSYNBAYEVA NURGUL ULYKBEKQYZY<br/>NABI SYMBAT SUYINDIKQYZY<br/>TULEKOVA G.</i>                                                                                                 |     |
| АҒЫЛШЫН ТІЛІ САБАҒЫНДА ЭМОЦИОНАЛДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ДАМУ ЖОЛДАРЫ.....                                                                                                                     | 473 |
| <i>НАСИМУЛЛИНА А.Б.<br/>ПАРУХОВ Ж.Р.</i>                                                                                                                                            |     |
| THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN DEVELOPING THE COMMUNICATIVE COMPETENCE OF UNIVERSITY STUDENTS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION..... | 476 |
| <i>ERSULTAN U. EMBERDIYEV</i>                                                                                                                                                       |     |
| CORRECTION OF DYSLEXIA IN TEACHING ENGLISH TO MIDDLE SCHOOL STUDENTS.....                                                                                                           | 480 |
| <i>AMANZHOLOVA A.</i>                                                                                                                                                               |     |
| IDENTIFYING DYSLEXIA IN MIDDLE SCHOOL EFL CLASSROOMS.....                                                                                                                           | 484 |
| <i>AMANZHOLOVA A.</i>                                                                                                                                                               |     |

## Philosophical Sciences

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ҚАЗАҚ ХАЛҚЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ САЛТ-ДӘСТҮРЛЕРІНІҢ МИФОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СЕМАНТИКАЛЫҚ МӘНІ ..... | 488 |
| <i>РАХИМОВА ГҮЛЬНАРА ДҮЙСЕНҚЫЗЫ</i>                                                                    |     |

## Biological Sciences

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ULTRA-RARE AND HYPER-RARE GENETIC DISEASES AT THE EDGE OF DISCOVERY: MOLECULAR MECHANISMS, EPIDEMIOLOGY, GENOMIC ARCHITECTURE, AND TRANSLATIONAL CHALLENGES.....                                                                                                                                                    | 497 |
| <i>DAVID APKHAZAVA<br/>MAIA NOZADZE<br/>LEVAN GULUA<br/>MZIA TSIKLAURI<br/>MANANA MAKHARADZE<br/>MAIA BERODZE<br/>NODAR SULASHVILI<br/>GIORG MARGVELANI<br/>TAMUNA SAMADASHVILI<br/>NINO MAZIASHVILI<br/>LOLITA SHENGELIA<br/>RIDHWAN YOONUS<br/>ANUPREET KAMBLE<br/>GEORGE MAGLAKELIDZE<br/>ILIA ATANELISHVILI</i> |     |
| СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И КУЛЬТУРА IN VITRO: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ....                                                                                                                                                                                                                  | 526 |
| <i>ӨКІМБЕК С.Б.<br/>САПАРБЕКОВА А.А.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛИСТОВЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ..... | 534 |
| <i>ТАБАНБАЕВА Э.<br/>АЛПАМЫСОВА Г.Б.</i>                                                                      |     |

**Agricultural Sciences**

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ABŞERONDA SOLUXDURULMUŞ ÜZÜMLƏRDƏN TƏBİİ QIRMIZI ŞƏRAB İSTEHSALININ BİOKİMYƏVİ VƏ TEXNOLOJİ TƏDQIQI ..... | 541 |
| <i>İSMAYILOVA CƏMİLƏ VÜSAL QIZI<br/>VUQAR ŞAHBABA MIKAYILOV OĞLU</i>                                      |     |

**Geological and Mineralogical Sciences**

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DIRECT-PROSPECTING TECHNOLOGY OF SATELLITE AND PHOTO IMAGES FREQUENCY-RESONANCE PROCESSING: RESULTS OF APPROBATION ON PROSPECTING BLOCKS AND SITES OF WELLS FOR HYDROGEN DRILLING IN FRANCE ..... | 549 |
| <i>MYKOLA YAKYMCHUK<br/>IGNAT KORCHAGIN<br/>VALERY SOLOVYOV</i>                                                                                                                                   |     |

**Geographic Sciences**

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫ ТЕРЕКТІК АУДАНЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ .....   | 583 |
| <i>ОРЫНБАСАРОВА ГҮЛДАНА НҰРБОЛҚЫЗЫ<br/>САЛИХОВ ТАЛҒАТ ҚҰМАРҰЛЫ</i>                        |     |
| БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ БӘЙТЕРЕК АУДАНЫНЫҢ ТУРИСТІК-РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ ..... | 592 |
| <i>ШҮКІРХАН ӘСЕМ<br/>САЛИХОВ ТАЛҒАТ ҚҰМАРҰЛЫ</i>                                          |     |

## **Pedagogical Sciences**

# DIGITALIZATION OF FESTIVE EVENTS IN PRESCHOOL EDUCATION: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS

**Yessemuratova D.Zh.**

Master's student, Pedagogy of preschool education and training, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

**Baikulova A.M.**

PhD, Associate Professor of the Department of Preschool Education, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

### **Abstract**

This article examines the digitalization of festive events in preschool education through bibliometric and thematic analysis. The study aims to identify publication dynamics, leading countries, influential publications, citation patterns, and dominant thematic directions in this emerging interdisciplinary field. The research is based on scientific publications indexed in the Scopus database and analyzed using bibliometric methods. The relevance of the study is determined by the growing integration of digital technologies into preschool education, including cultural, creative, and event-based pedagogical activities. The findings show that scientific interest in the topic increased significantly after 2020, largely due to the rapid expansion of online and hybrid educational practices during the COVID-19 pandemic. The results indicate that Australia and Sweden are the leading countries in terms of publication activity, while Kazakhstan, Uzbekistan, and Kyrgyzstan are gradually entering the international research field. Citation analysis revealed that the most influential publications focus on digital storytelling, teacher digital competence, parental attitudes toward technology, augmented reality, online learning, and digital access to knowledge in preschool classrooms. The study concludes that digital technologies expand the pedagogical potential of festive events by supporting children's creativity, communication, social participation, emotional development, and cultural identity formation. At the same time, the findings emphasize the need for developmentally appropriate and pedagogically balanced digital integration in preschool institutions.

**Keywords:** preschool education; digitalization; festive events; early childhood education; digital technologies; bibliometric analysis; preschool pedagogy.

### **Introduction**

The rapid expansion of digital technologies has significantly transformed contemporary educational environments, including the sphere of preschool education. Digital tools such as interactive multimedia platforms, virtual communication technologies, augmented reality applications, digital storytelling systems, and online event management platforms are increasingly integrated into educational and extracurricular activities in early childhood institutions. Among these transformations, festive and cultural events in preschool organizations have also undergone substantial digitalization, especially after the global educational disruptions caused by the COVID-19 pandemic. Educational institutions began adopting digital technologies not only for instructional purposes but also for organizing celebrations, performances, thematic events, and

interactive cultural activities for young children and their families. Festive events in preschool education play an important pedagogical and socio-cultural role. They contribute to children's emotional development, creativity, socialization, communication skills, and cultural identity formation (Fleer, 2018). Traditionally, these events relied on face-to-face interaction and physical participation; however, digital technologies have expanded the possibilities of event organization through hybrid formats, virtual participation, multimedia integration, and interactive digital content. Researchers note that digitalization enhances children's engagement, visual perception, collaborative participation, and creative expression when appropriately integrated into preschool practices (Marsh et al., 2017). The increasing role of digital technologies in early childhood education has generated substantial academic interest worldwide. Studies have examined digital pedagogy, children's interaction with multimedia environments, teacher digital competencies, gamification, and educational innovation in preschool contexts (Dong & Mertala, 2021; Edwards, 2021). Nevertheless, the specific issue of digital technologies in organizing festive and cultural events within preschool organizations remains fragmented across the literature. Existing research is dispersed among studies related to digital pedagogy, educational entertainment, virtual celebrations, children's cultural activities, and multimedia communication. As a result, there is a need for a systematic bibliometric and thematic investigation to identify the intellectual structure, dominant research trends, scientific collaboration networks, and thematic clusters within this emerging field. Bibliometric analysis has become an important methodological approach for evaluating scientific development, identifying influential publications, mapping research trends, and visualizing conceptual structures within academic domains (Donthu et al., 2021). In educational research, bibliometric analysis has increasingly been applied to study digital education, artificial intelligence in learning, educational technologies, and early childhood pedagogy (Aria & Cuccurullo, 2017). Therefore, this study aims to analyze the scientific landscape of research on the digitalization of festive events in preschool education through bibliometric and thematic analysis based on the Scopus database. The study seeks to identify publication dynamics, leading countries and institutions, influential authors, thematic clusters, and emerging research directions in this interdisciplinary field.

*Relevance of the study.* The relevance of this study is determined by the accelerating digital transformation of educational systems and the growing integration of digital technologies into preschool educational practices worldwide. In recent years, digitalization has become one of the central trends shaping educational innovation, affecting not only academic instruction but also cultural, creative, and extracurricular activities within educational institutions (Selwyn, 2021). Preschool organizations increasingly employ digital tools to organize festive events, theatrical performances, holiday celebrations, interactive storytelling activities, and family-oriented educational programs. The importance of festive activities in early childhood education is well established in pedagogical research. Such events foster children's emotional intelligence, creativity, communication skills, cultural awareness, and social adaptation (Bodrova & Leong, 2015). Digital technologies expand the educational and organizational possibilities of these activities through multimedia content, virtual participation, interactive games, digital scenography, and hybrid communication formats. Consequently, digitalization has transformed festive events into multidimensional educational experiences combining pedagogy, entertainment, and digital interaction. Furthermore, the COVID-19 pandemic significantly accelerated the implementation of digital formats in preschool education. Educational institutions worldwide were forced to adapt cultural and festive activities to online and hybrid environments, stimulating the development of innovative digital practices (Dong et al., 2020). This shift increased scholarly attention toward digital communication, online preschool interaction, and virtual event organization. However, despite the rapid growth of related publications, the scientific landscape of this field has not yet been systematically analyzed through bibliometric methods. The relevance



of bibliometric analysis lies in its ability to provide a comprehensive overview of scientific development, research productivity, thematic evolution, and intellectual structures within a research domain (Donthu et al., 2021). Using Scopus as one of the largest international scientific databases ensures broad coverage of high-quality peer-reviewed publications. Therefore, this study is relevant because it addresses an emerging interdisciplinary field situated at the intersection of preschool pedagogy, educational technology, digital culture, and event organization. The findings may contribute to the development of future digital pedagogical strategies and provide a scientific basis for improving festive and cultural activities in preschool institutions.

*Research problem.* Despite the increasing implementation of digital technologies in preschool education, the scientific understanding of their application in organizing festive events remains insufficiently systematized. Existing studies mainly focus on digital learning environments, educational games, teacher digital competencies, and children's interaction with technology, while the organization of festive and cultural activities through digital means is often discussed indirectly or within broader educational contexts. As a result, the research field lacks a consolidated scientific framework that would demonstrate how this topic has evolved over time, which countries and institutions contribute most actively to the field, what thematic directions dominate scholarly discussions, and which conceptual clusters shape current academic discourse. The absence of such systematized analysis complicates the identification of emerging research trends, methodological gaps, and перспективных directions for future studies. Moreover, the interdisciplinary nature of the topic creates additional fragmentation in the literature. Publications related to digital festive events in preschool education are distributed across multiple research domains, including early childhood pedagogy, digital media studies, educational technologies, cultural studies, and communication research. Consequently, researchers encounter difficulties in obtaining a comprehensive understanding of the scientific landscape of this field. Another important issue concerns the lack of bibliometric investigations dedicated specifically to festive activities in preschool digital environments. Although bibliometric studies on digital education and educational technologies have increased considerably in recent years (Zupic & Čater, 2015), little attention has been devoted to cultural and festive dimensions of preschool education. This creates a methodological and analytical gap within educational technology research. Therefore, the research problem of this study is the absence of a comprehensive bibliometric and thematic analysis of scientific publications related to the digitalization of festive events in preschool education indexed in the Scopus database.

*Research gap.* A review of contemporary literature demonstrates significant growth in studies related to digital technologies in education, early childhood digital pedagogy, and educational innovation. Researchers have explored topics such as digital literacy in preschool children, online learning environments, gamification, virtual communication, and multimedia educational tools (Edwards, 2021; Marsh et al., 2017). Bibliometric analyses have also been conducted in areas such as artificial intelligence in education, e-learning, and digital pedagogy (Donthu et al., 2021). However, there remains a noticeable research gap concerning the digitalization of festive and cultural events in preschool organizations. Existing studies are fragmented and primarily descriptive, focusing on practical experiences rather than analyzing the broader scientific structure of the field. There is limited knowledge regarding publication trends, citation patterns, international collaboration, thematic evolution, and dominant research clusters associated with this topic. Additionally, previous bibliometric studies rarely address preschool festive activities as a distinct research category. Most analyses concentrate on general educational technologies or online learning systems without considering the socio-cultural and creative functions of festive events in early childhood education. Consequently, the conceptual

relationship between digital technologies, preschool pedagogy, and festive cultural practices remains underexplored.

*The aim of this study* is to conduct a bibliometric and thematic analysis of scientific publications related to the digitalization of festive events in preschool education based on the Scopus database.

*Research question:* How has scientific research on the digitalization of festive events in preschool education evolved, and what thematic trends, collaboration networks, and conceptual structures characterize this research field?

*Significance of the study.* From a theoretical perspective, the research contributes to the development of knowledge at the intersection of preschool pedagogy, digital education, and cultural-event practices. It systematizes fragmented scientific literature and provides a structured overview of the intellectual development of the field. The study also contributes to understanding how digital transformation influences cultural and festive dimensions of early childhood education. From a methodological perspective, the study demonstrates the effectiveness of bibliometric and thematic analysis for investigating interdisciplinary educational topics. This methodological approach may serve as a model for future educational bibliometric research. From a practical perspective, the findings may assist researchers, educators, preschool administrators, and policymakers in identifying emerging digital practices and innovative approaches to organizing festive activities in preschool institutions. The results may also support the development of digital pedagogical strategies, teacher training programs, and future interdisciplinary research initiatives related to early childhood digital culture.

### **Literature Review**

The digital transformation of early childhood education has become one of the most significant trends in contemporary pedagogical research. Digital technologies are no longer viewed only as supplementary instructional tools; rather, they are increasingly understood as part of children's everyday cultural, communicative, and learning environments. In preschool education, digital resources such as interactive screens, multimedia platforms, digital storytelling, educational applications, virtual communication tools, and augmented reality elements create new opportunities for children's cognitive, emotional, creative, and social development. According to Fler (2016), digital play should be interpreted not merely as children's interaction with technological devices, but as a culturally mediated form of activity in which imagination, symbolic action, and social meaning are reconstructed in digital environments. This position is especially important for preschool pedagogy, where play remains the leading form of learning and development. Recent studies emphasize that the integration of digital technologies into preschool education requires a balanced pedagogical approach. Digital tools can support children's motivation, visual perception, creativity, communication, and collaborative participation; however, their effectiveness depends on teachers' methodological competence and the developmental appropriateness of digital content. Mertala (2017) notes that attitudes toward technology in early childhood education are complex because digital tools are evaluated not only from the perspective of instruction, but also through the interrelated dimensions of education, socialization, and care. Therefore, the use of digital technologies in preschool organizations should not replace traditional forms of interaction but should enrich children's learning experiences through meaningful and age-appropriate pedagogical design.

Within this context, festive and cultural events represent an important but insufficiently explored area of preschool digitalization. Traditionally, festive events in preschool institutions have performed several pedagogical functions: they support children's emotional expression, creativity, communication skills, collective participation, and cultural identity formation. When digital technologies are integrated into such events, they expand the possibilities of organization through multimedia scenarios, digital scenography, online participation of parents, virtual

performances, interactive games, video materials, and digital storytelling. Thus, festive events become not only recreational or ceremonial activities, but also complex educational environments that combine play, culture, communication, and digital creativity.

The COVID-19 pandemic significantly accelerated the transition of preschool institutions toward online and hybrid formats. During periods of lockdown and restricted physical interaction, many educational organizations began using digital platforms to maintain communication with children and families. This process demonstrated that digital technologies could support not only formal learning but also cultural, creative, and emotional dimensions of preschool life. At the same time, the pandemic revealed methodological difficulties, including unequal access to technologies, insufficient teacher training, limited digital resources for young children, and the risk of excessive screen exposure. Consequently, current research increasingly stresses the need for evidence-based models of digital integration in early childhood education.

Another important direction in the literature concerns teachers' digital competence. Preschool teachers play a central role in transforming digital tools into pedagogically meaningful resources. Dong and Mertala (2021) show that teachers' beliefs about young children's technology use are shaped by their broader assumptions about childhood, parenting, play, and development. This means that the successful digitalization of festive events depends not only on the availability of technological infrastructure but also on educators' ability to design emotionally rich, culturally relevant, and developmentally appropriate digital activities. From a methodological perspective, bibliometric analysis is increasingly used to systematize fragmented scientific fields and identify dominant research trends. Donthu et al. (2021) argue that bibliometric methods are especially useful for mapping the intellectual structure of rapidly developing interdisciplinary domains because they allow researchers to analyze publication dynamics, citation patterns, author collaboration, keyword co-occurrence, and thematic clusters. In the context of this study, bibliometric and thematic analysis makes it possible to examine how research on digitalization, preschool education, festive activities, digital play, and educational technologies is distributed across the Scopus database. Despite the growing number of studies on digital technologies in early childhood education, the specific issue of digitalizing festive events in preschool organizations remains underrepresented. Most existing studies focus on digital learning, educational applications, online interaction, digital literacy, or teacher competence, while festive and cultural activities are usually discussed indirectly. This indicates a clear research gap: there is still limited knowledge about how digital technologies transform preschool celebrations, performances, thematic holidays, and cultural events as pedagogical practices. Therefore, a bibliometric and thematic analysis of this field can contribute to identifying the conceptual boundaries, leading themes, and future research directions of this emerging topic.

In Kazakhstan, the digitalization of preschool education is developing within the broader national agenda of educational modernization and digital transformation. Recent studies show growing interest in electronic applications, digital competence, and technology-based pedagogical tools for preschool children. For example, Karymsakova et al. (2025) examined the use of the "Nimble Fingers" electronic application for developing graphomotor skills among preschoolers in Kazakhstan and found that digital tools can support fine motor development and visual-motor coordination when they are integrated into a structured educational process. Similarly, Aitymova (2023) focused on the formation of digital competence in preschool age, emphasizing that digital literacy should begin at early stages of education through age-appropriate pedagogical models. These findings are important for the present study because they show that Kazakhstan's preschool education system is gradually moving from general digitalization toward more specialized research on digital pedagogical practices. However, the digitalization of festive events in Kazakhstani preschool organizations remains insufficiently studied, which confirms the relevance of further bibliometric and thematic analysis.

## Methodology

This study employed a bibliometric and thematic analysis design to investigate the scientific landscape of research related to the digitalization of festive events in preschool education. Bibliometric analysis was selected because it enables the systematic evaluation of publication trends, scientific productivity, citation patterns, conceptual structures, and collaboration networks within a specific research field (Donthu et al., 2021). In addition, thematic mapping techniques provide opportunities to identify dominant research clusters, emerging topics, and intellectual relationships among keywords and scientific concepts. The Scopus database was selected as the primary source of scientific publications due to its extensive coverage of peer-reviewed international journals, conference proceedings, and interdisciplinary educational research. Scopus is widely recognized as one of the largest and most reliable databases for bibliometric investigations because it indexes high-impact publications across the fields of education, digital technologies, social sciences, and communication studies (Aria & Cuccurullo, 2017). The data collection process was conducted in several stages. Initially, a search strategy was developed using combinations of keywords related to preschool education, digitalization, festive events, educational technologies, digital culture, online celebrations, multimedia activities, and early childhood education. Boolean operators ("AND", "OR") and truncation techniques were applied to broaden and refine the search results. The search was limited to publications indexed in Scopus and published in English-language sources between 2015 and 2025 in order to ensure the relevance and contemporary nature of the dataset.

*TITLE-ABS-KEY ( "early childhood education" AND "digital technologies" ) AND PUBYEAR > 2007 AND PUBYEAR < 2027 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "SOCI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ARTS" ) ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Early Childhood Education" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Digital Technologies" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Digital Technology" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Early Childhood Educations" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Early Childhood" ) OR LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "Technology Integration" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( LIMIT-TO ( OA , "all" ) )*

The selection procedure followed the PRISMA framework (Figure 1), which is commonly used to improve transparency and replicability in systematic review processes. A total of 202 records were initially identified through the Scopus database. After the removal of ineligible records through automated filtering procedures, 93 publications remained for screening. During the screening stage, titles, abstracts, and keywords were examined according to the inclusion and exclusion criteria. Studies unrelated to preschool education, digital technologies, or festive and cultural activities were excluded. Following the eligibility assessment, 53 publications were selected for the final bibliometric and thematic analysis.

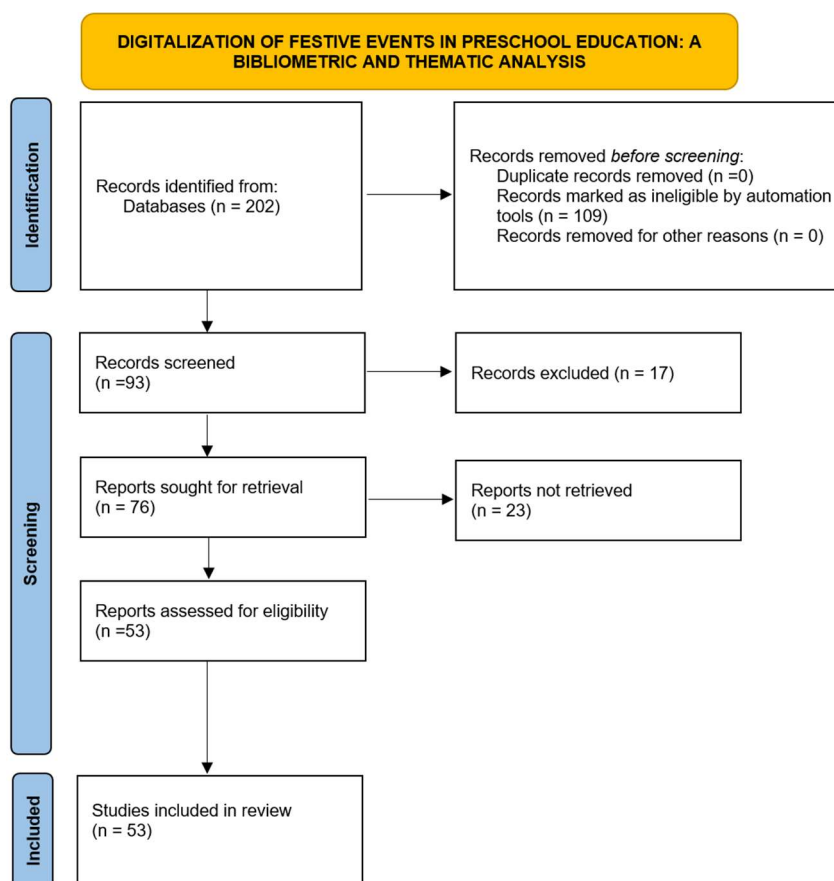


**Figure 1. PRISMA flow diagram of the selection process for publications included in the bibliometric and thematic analysis**

The inclusion criteria consisted of the following conditions:

1. Publications focused on preschool or early childhood education;
2. Studies related to digital technologies, multimedia tools, or digital pedagogical practices;
3. Research connected to festive, cultural, creative, or event-based educational activities;
4. Peer-reviewed journal articles, conference papers, and review articles indexed in Scopus;
5. Publications published between 2015 and 2025.

The exclusion criteria included:

1. Studies unrelated to preschool education;
2. Publications without direct relevance to digitalization processes;
3. Duplicate or inaccessible documents;
4. Non-scientific publications and editorials.

The methodological approach of this study combines quantitative bibliometric techniques with qualitative thematic interpretation. Such integration enables not only the measurement of scientific productivity but also the interpretation of conceptual trends and intellectual structures that characterize research on the digitalization of festive events in preschool education.

### Results of the study

The bibliometric analysis revealed a noticeable geographical concentration of scientific publications related to the digitalization of festive events in preschool education. The results demonstrate that research activity in this interdisciplinary field is unevenly distributed across countries, with several nations showing significantly higher scientific productivity than others. As presented in Table 1, Australia occupies the leading position in terms of the number of publications, contributing 16 documents to the Scopus dataset. This result indicates the strong institutional and academic interest of Australian researchers in the integration of digital

technologies into early childhood educational practices. Australia’s leadership may be explained by the country’s active implementation of digital pedagogy, early childhood innovation policies, and extensive research on children’s digital play and media interaction.

**Table 1. Distribution of Scientific Publications by Country in Research on the Digitalization of Festive Events in Preschool Education**

| <i>No</i> | <i>Country / Territory</i> | <i>Number of Publications</i> |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|
| 1         | Australia                  | 16                            |
| 2         | Sweden                     | 10                            |
| 3         | Hong Kong                  | 5                             |
| 4         | Norway                     | 5                             |
| 5         | United Kingdom             | 5                             |
| 6         | Indonesia                  | 4                             |
| 7         | Greece                     | 3                             |
| 8         | Turkey                     | 3                             |
| 9         | Kazakhstan                 | 3                             |
| 10        | Finland                    | 2                             |
| 11        | South Africa               | 2                             |
| 12        | Uzbekistan                 | 1                             |
| 13        | Kyrgyzstan                 | 1                             |

Sweden ranks second with 10 publications, demonstrating a substantial contribution to research on preschool digitalization and child-centered educational technologies. Scandinavian countries have traditionally emphasized innovative pedagogical approaches and digital inclusion in early childhood education, which may explain Sweden’s prominent position within the scientific landscape. The next group of countries includes Hong Kong, Norway, and the United Kingdom, each contributing approximately five publications. These countries demonstrate stable academic interest in the relationship between preschool pedagogy, digital media, and children’s socio-cultural activities. The presence of Hong Kong among the leading contributors also reflects the increasing attention of Asian educational systems toward digital transformation and technology-enhanced preschool environments. Indonesia occupies a moderate position with four publications, indicating the gradual expansion of research activity in developing educational contexts. Greece and Turkey each contributed three publications, while Finland and South Africa demonstrated lower but still visible scientific productivity with two publications each. The findings indicate that the majority of influential research originates from countries with highly developed educational systems and active digital transformation policies. At the same time, the relatively limited representation of developing countries suggests the existence of geographical disparities in scientific production and access to digital educational research infrastructure. The country-level distribution of publications demonstrates that Australia and Sweden occupy leading positions in the scientific investigation of digitalization processes in preschool education and festive educational activities. At the same time, the inclusion of Kazakhstan, Uzbekistan, and Kyrgyzstan in the bibliometric dataset indicates the gradual emergence of Central Asian research within the field of digital preschool pedagogy. Kazakhstan demonstrates comparatively higher scientific productivity among the Central Asian countries with three publications, reflecting increasing academic attention toward digital transformation in early childhood education. Meanwhile, Uzbekistan and Kyrgyzstan remain at the initial stage of scientific involvement in this research area, each contributing one publication. These findings suggest that although the topic is still



developing within the Central Asian academic context, regional interest in digital educational practices and preschool innovation is gradually expanding.

The analysis of publication dynamics demonstrates the gradual development and increasing scientific interest in the digitalization of festive events in preschool education between 2015 and 2026. As illustrated in Figure 2, the evolution of publications in this field can be divided into several distinct stages characterized by fluctuations in scientific productivity.

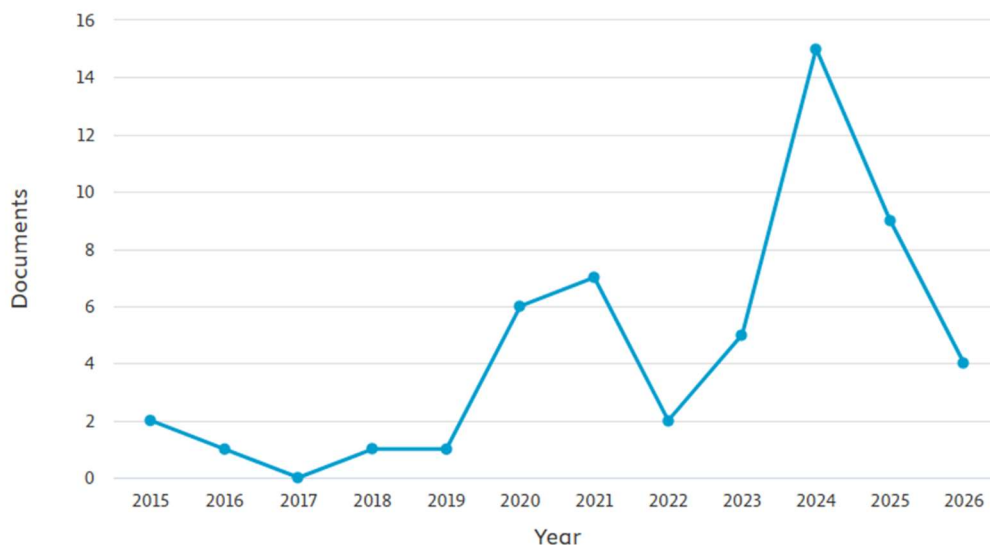


**Figure 3. Dynamics of scientific publications by year in research on the digitalization of festive events in preschool education**

During the initial stage between 2015 and 2019, the number of publications remained relatively low and unstable. In 2015, two publications were identified, followed by a slight decline in 2016 and the absence of indexed publications in 2017. In 2018 and 2019, the number of publications slightly increased to one publication per year. This limited scientific activity indicates that the topic had not yet emerged as an independent research direction and was mainly discussed within broader contexts such as digital pedagogy, early childhood technology integration, and multimedia learning. A significant increase in publication activity began in 2020, when the number of documents rose to six publications. This growth coincided with the global COVID-19 pandemic, which accelerated the implementation of digital technologies across all educational levels, including preschool education. Educational institutions worldwide were forced to adopt online and hybrid formats for learning, communication, and cultural activities, thereby stimulating academic interest in digital educational practices and virtual event organization.

In 2021, publication activity continued to increase, reaching seven publications. Researchers increasingly focused on digital interaction, online preschool communication, virtual celebrations, multimedia engagement, and innovative forms of children's participation in educational and festive activities. However, in 2022, the number of publications temporarily decreased to two documents, which may reflect the transitional phase following the emergency digitalization period during the pandemic. The most substantial growth occurred in 2024, when the number of publications reached its peak at fifteen documents. This sharp increase demonstrates the transformation of the topic into a stable and actively developing interdisciplinary research area. The growing number of publications suggests that scholars increasingly recognize the pedagogical, cultural, and technological significance of digital festive practices in preschool education. Although publication activity slightly declined in 2025 and 2026, the overall trend remains positive compared to the initial years of the analyzed period. The continued presence of publications after the pandemic indicates that digitalization in preschool festive activities is no longer viewed as a



temporary response to crisis conditions but rather as a sustainable direction of educational innovation.

Citation analysis was conducted to identify the most influential and highly cited publications related to digital technologies in preschool education and culturally oriented educational practices. The results demonstrate that the scientific field is dominated by studies focusing on digital storytelling, online learning environments, parental attitudes toward technology, teacher digital competence, and innovative educational technologies in early childhood education. As presented in Table 2, the most highly cited publication is *“Storytelling in Early Childhood Education: Time to Go Digital”* by Rahiem (2021), published in the *International Journal of Child Care and Education Policy*, which received 100 citations. The high citation impact of this study indicates the growing importance of digital storytelling as a pedagogical strategy that combines creativity, communication, cultural transmission, and technological interaction in preschool education. The popularity of this topic also reflects increasing scholarly interest in integrating multimedia narratives into children’s educational and festive activities.

**Table 2. Top 10 most cited publications in research on digital technologies and preschool education**

| <i>No</i> | <i>Document Title</i>                                                                              | <i>Authors</i>                                                         | <i>Source</i>                                                       | <i>Year</i> | <i>Citations</i> |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| 1         | Storytelling in early childhood education: Time to go digital                                      | Rahiem, M.D.H.                                                         | International Journal of Child Care and Education Policy, 15(1), 4  | 2021        | 100              |
| 2         | Technology integration for young children during COVID-19: Towards future online teaching          | Hu, X.; Chiu, M.M.; Leung, W.M.V.; Yelland, N.                         | British Journal of Educational Technology, 52(4), 1513–1537         | 2021        | 81               |
| 3         | Harnessing the potential of storytelling and mobile technology in intangible cultural heritage     | Tzima, S.; Styliaras, G.; Bassounas, A.; Tzima, M.                     | Sustainability, 12(22), 9416                                        | 2020        | 68               |
| 4         | Digital technologies in early childhood: Attitudes and practices of parents and teachers in Kosovo | Gjelaj, M.; Buza, K.; Shatri, K.; Zabeli, N.                           | International Journal of Instruction, 13(1), 165–184                | 2020        | 64               |
| 5         | Situating ICT in early childhood teacher education                                                 | Masoumi, D.                                                            | Education and Information Technologies, 26(3), 3009–3026            | 2021        | 57               |
| 6         | Digital access to knowledge in the preschool classroom: Reports from Australia                     | Thorpe, K.; Hansen, J.; Danby, S.; Davidson, C.; Given, L.M.           | Early Childhood Research Quarterly, 32, 174–182                     | 2015        | 52               |
| 7         | Investigating parents' attitudes towards digital technology use in early childhood                 | Mikelić Preradović, N.; Lešin, G.; Šagud, M.                           | Informatics in Education, 15(3), 127–146                            | 2016        | 46               |
| 8         | Augmented reality as a form of digital technology in early childhood education                     | Madanipour, P.; Cohrsen, C.                                            | Australasian Journal of Early Childhood, 45(1), 5–13                | 2020        | 42               |
| 9         | The integration of the internet of toys in early childhood education                               | Kewalramani, S.; Palaiologou, I.; Arnott, L.; Dardanou, M.             | European Early Childhood Education Research Journal, 28(2), 197–213 | 2020        | 39               |
| 10        | The role of digital technologies in supporting quality improvement in early childhood education    | Hatzigianni, M.; Stephenson, T.; Harrison, L.J.; Davis, B.; Irvine, S. | International Journal of Child Care and Education Policy, 17(1), 5  | 2023        | 29               |

The second most influential publication is the study by Hu et al. (2021), *“Technology Integration for Young Children During COVID-19: Towards Future Online Teaching”*, published in the *British Journal of Educational Technology*, with 81 citations. This publication became particularly influential due to the global educational transformations caused by the COVID-19 pandemic. The study highlighted the rapid adaptation of preschool education to online environments and examined the challenges and opportunities associated with digital learning for young children. Another highly cited publication is the work by Tzima et al. (2020), which investigated storytelling and mobile technologies in preserving intangible cultural heritage. With 68 citations, this study demonstrates the increasing intersection between digital technologies, cultural practices, and educational communication. The findings are especially relevant for festive and cultural activities in preschool organizations because they emphasize the role of digital media in transmitting cultural values and collective experiences. Several influential studies focus on the attitudes of teachers and parents toward digital technologies in early childhood education. For example, Gjelač et al. (2020) analyzed parental and teacher practices in Kosovo, while Mikelić Preradović et al. (2016) investigated parents’ perceptions of children’s digital technology use. These studies demonstrate that family and educator attitudes remain critical factors influencing the successful integration of digital tools into preschool environments. The citation analysis also highlights the importance of emerging technological directions such as augmented reality, Internet of Toys, and digital access to knowledge in preschool classrooms. Studies by Madanipour and Cohrsen (2020) and Kewalramani et al. (2020) indicate that innovative digital technologies are increasingly viewed not only as instructional tools but also as mechanisms for supporting children’s creativity, imagination, and interactive participation. Another important observation is that the majority of highly cited publications were published between 2020 and 2021. This trend reflects the accelerated academic interest in digital preschool education during and after the COVID-19 pandemic. The pandemic acted as a catalyst for scientific discussion regarding online communication, virtual participation, digital creativity, and technology-supported educational activities for young children.

### Discussion

The findings of this study demonstrate that research on the digitalization of festive events in preschool education has evolved into a rapidly developing interdisciplinary field situated at the intersection of early childhood pedagogy, educational technology, digital culture, and multimedia communication. The bibliometric results indicate that scientific interest in this topic has intensified significantly since 2020, particularly during and after the COVID-19 pandemic. This tendency corresponds with previous studies emphasizing that the pandemic accelerated global digital transformation processes in education and stimulated the widespread implementation of online and hybrid pedagogical practices (Dong et al., 2020; Selwyn, 2021). One of the most significant findings of the study is the dominance of countries with advanced educational systems and strong digital infrastructures, particularly Australia and Sweden. This result supports the argument that the successful integration of digital technologies into preschool education is closely connected to national innovation policies, technological accessibility, and institutional support for digital pedagogy. Previous studies have similarly demonstrated that countries with developed educational ecosystems are more likely to produce innovative research related to digital play, multimedia learning, and technology-enhanced early childhood education (Edwards, 2021; Fler, 2018). The leading position of Australia may also be explained by the active development of research traditions focused on children’s digital play and interactive learning environments (Thorpe et al., 2015). The results also reveal the growing internationalization of research on preschool digitalization. Although the majority of publications originate from Western and Scandinavian countries, the inclusion of Kazakhstan, Uzbekistan, and Kyrgyzstan demonstrates the gradual emergence of Central Asian scholarship within the global scientific discourse. This

tendency reflects broader regional educational modernization processes associated with digital transformation initiatives in post-Soviet educational systems. However, the comparatively limited number of publications from Central Asia suggests that research in this area remains at an early developmental stage and requires further institutional and methodological support.

Another important finding concerns the thematic orientation of highly cited publications. Citation analysis demonstrated that the intellectual structure of the field is largely shaped by studies related to digital storytelling, teacher digital competence, parental attitudes toward technology, online learning environments, and multimedia interaction. These findings correspond with earlier research emphasizing that digital storytelling has become one of the most influential pedagogical approaches in early childhood education because it combines creativity, communication, imagination, and cultural transmission (Rahiem, 2021). The popularity of storytelling-related research also indicates that festive and cultural activities in preschool institutions increasingly incorporate multimedia narratives and interactive digital content. The study further confirms the growing importance of teachers' digital competence in organizing meaningful educational experiences for preschool children. Previous research has consistently shown that the effectiveness of digital technologies depends not only on technological availability but also on educators' pedagogical readiness and beliefs about childhood learning (Dong & Mertala, 2021; Mertala, 2017). The findings of the present study support this perspective by demonstrating that many influential publications focus specifically on teacher preparation, technology integration, and pedagogically appropriate digital practices. Consequently, the digitalization of festive events should not be understood as a purely technical process but rather as a pedagogical transformation requiring methodological adaptation and professional development. Another significant observation is the increasing role of cultural and socio-emotional dimensions within digital preschool environments. Festive activities traditionally contribute to children's emotional development, social participation, creativity, and cultural identity formation (Bodrova & Leong, 2015). The integration of digital technologies into such activities expands opportunities for virtual participation, multimedia communication, and hybrid interaction formats. At the same time, this transformation raises important pedagogical concerns regarding screen exposure, children's emotional engagement, and the preservation of direct social interaction. Similar concerns have been discussed in studies on digital play and early childhood media practices (Fleer, 2016; Marsh et al., 2016). The publication dynamics identified in this study further demonstrate that the field experienced its most rapid growth during the pandemic period. This result aligns with global educational research showing that emergency remote education accelerated innovation in digital communication and online preschool interaction (Hu et al., 2021). However, the continued publication activity after the pandemic indicates that digitalization in preschool education is no longer perceived as a temporary solution but rather as a long-term educational transformation. Therefore, festive digital practices are gradually becoming integrated into sustainable pedagogical models rather than remaining emergency adaptations. From a methodological perspective, the study confirms the effectiveness of bibliometric and thematic analysis for investigating emerging interdisciplinary educational fields. Similar conclusions regarding the value of bibliometric methods in educational research were previously emphasized by Donthu et al. (2021) and Zupic and Čater (2015), who argued that bibliometric visualization techniques provide important opportunities for mapping conceptual structures and scientific evolution. Despite these contributions, the study also reveals several limitations within the existing scientific landscape. First, research on the digitalization of festive events in preschool education remains fragmented and insufficiently systematized. Most publications discuss festive activities indirectly within broader discussions of digital pedagogy, online learning, or educational technologies. Second, there is still limited empirical research specifically focused on the socio-cultural functions of digital festive practices in preschool institutions. Third, developing countries

and underrepresented regions continue to demonstrate relatively low scientific visibility within the international research community.

### **Conclusion**

This study provided a bibliometric and thematic analysis of scientific publications on the digitalization of festive events in preschool education. The research was conducted on the basis of publications indexed in the Scopus database and analyzed through bibliometric procedures. The study addressed an emerging interdisciplinary field located at the intersection of preschool pedagogy, digital technologies, cultural-event practices, multimedia communication, and early childhood development. The results showed that the topic has gained increasing scientific attention, especially after 2020. The growth of publications during and after the COVID-19 pandemic confirms that digital technologies became an important factor not only in organizing educational instruction, but also in transforming creative, cultural, and festive activities in preschool institutions. The publication dynamics demonstrated that the digitalization of festive events is no longer limited to emergency online formats, but is gradually becoming part of sustainable pedagogical innovation in early childhood education. The country-level analysis revealed that Australia and Sweden occupy leading positions in the development of this research field, while Hong Kong, Norway, the United Kingdom, Indonesia, Greece, Turkey, Finland, and South Africa also contribute to the scientific discourse. The inclusion of Kazakhstan, Uzbekistan, and Kyrgyzstan indicates the gradual emergence of Central Asian research on digital preschool education. However, the relatively small number of publications from these countries shows that this area still requires further academic development, institutional support, and international collaboration. Citation analysis demonstrated that the most influential publications are concentrated around several key themes: digital storytelling, technology integration during COVID-19, teacher digital competence, parental attitudes toward digital technologies, augmented reality, the Internet of Toys, and digital access to knowledge in preschool classrooms. These thematic directions show that digital technologies are increasingly understood not only as technical tools, but also as pedagogical resources that can support children's creativity, imagination, communication, social participation, and cultural identity formation.

The study also confirmed that festive events in preschool education have significant pedagogical value. They contribute to children's emotional development, socialization, creativity, communication skills, and cultural awareness. The integration of digital technologies into festive activities expands these opportunities through multimedia scenarios, virtual participation, digital storytelling, interactive games, and hybrid formats. At the same time, the results emphasize the need for a balanced and developmentally appropriate approach, because digital tools should enrich, but not replace, direct communication, play-based interaction, and children's live emotional experience. The aim of the study was achieved. The research successfully identified publication dynamics, leading countries, influential publications, citation patterns, and dominant thematic directions in the field of digitalization of festive events in preschool education. The study also answered the research question by demonstrating how this scientific field has evolved and what conceptual structures characterize it. Thus, the article contributes to the systematization of fragmented literature and provides a scientific basis for further research on digital festive practices in preschool organizations. The practical significance of the study lies in the fact that its findings may be useful for preschool teachers, researchers, administrators, curriculum designers, and policymakers. The results can support the development of digital pedagogical strategies, teacher training programs, and innovative models for organizing festive and cultural events in preschool institutions. For Kazakhstan and other Central Asian countries, the study highlights the importance of strengthening research activity, developing localized digital resources, and integrating culturally relevant digital content into preschool festive practices. Future research should focus on empirical studies of children's experiences during digital festive events, comparative cross-country analysis,

teacher readiness for digital event organization, parental involvement in hybrid preschool celebrations, and the long-term developmental effects of digital cultural practices. Further studies should also examine how digital technologies can preserve national traditions, language, cultural memory, and children's creative participation within preschool festive environments. Therefore, the digitalization of festive events in preschool education may be considered a promising scientific and practical direction for the future development of early childhood education.

## References

- Aitymova, A. M. (2023). The formation of digital competence in preschool age. *Bulletin of Abai Kazakh National Pedagogical University, Series of Physical and Mathematical Sciences*.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bodrova, E., & Leong, D. J. (2015). *Tools of the mind: The Vygotskian approach to early childhood education* (3rd ed.). Pearson.
- Disney, L., & Geng, G. (2021). Investigating young children's social interactions during digital play. *Education Sciences*, 11(9), 523. <https://doi.org/10.3390/educsci11090523>
- Dong, C., & Mertala, P. (2021). Preservice teachers' beliefs about young children's technology use at home. *Teaching and Teacher Education*, 102, 103325. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103325>
- Dong, C., Cao, S., & Li, H. (2020). Young children's online learning during COVID-19 pandemic: Chinese parents' beliefs and attitudes. *Children and Youth Services Review*, 118, 105440. <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2020.105440>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Edwards, S. (2021). Digital play in the early years: A contextual response to the problem of integrating technologies and play-based pedagogies in the early childhood curriculum. *European Early Childhood Education Research Journal*, 29(2), 199–212. <https://doi.org/10.1080/1350293X.2021.1895264>
- Fleer, M. (2014). The demands and motives afforded through digital play in early childhood activity settings. *Learning, Culture and Social Interaction*, 3(3), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2014.02.012>
- Fleer, M. (2016). Theorising digital play: A cultural-historical conceptualisation of children's engagement in imaginary digital situations. *International Research in Early Childhood Education*, 7(2), 75–90.
- Fleer, M. (2018). Examining the psychological content of digital play through Hedegaard's model of child development. *Learning, Culture and Social Interaction*, 18, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2018.04.006>
- Karymsakova, A., Abildinova, G., Zhilmagambetova, R., & Aitymova, A. (2025). "Nimble Fingers" electronic application for the development of graphomotor skills in preschoolers: A randomized controlled trial in Kazakhstan. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(3), 156–163. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i3.6468>
- Marsh, J. (2010). Young children's play in online virtual worlds. *Journal of Early Childhood Research*, 8(1), 23–39. <https://doi.org/10.1177/1476718X09345406>
- Marsh, J., Hannon, P., Lewis, M., & Ritchie, L. (2017). Young children's initiation into family literacy practices in the digital age. *Journal of Early Childhood Research*, 15(1), 47–60. <https://doi.org/10.1177/1476718X15582095>



Marsh, J., Plowman, L., Yamada-Rice, D., Bishop, J., & Scott, F. (2016). Digital play: A new classification. *Early Years*, 36(3), 242–253. <https://doi.org/10.1080/09575146.2016.1167675>

Selwyn, N. (2021). *Education and technology: Key issues and debates* (3rd ed.). Bloomsbury Academic.

Utami, A., & Crescenzi-Lanna, L. (2025). Research design and implementation of digital play and digital games-based learning in early development (0–6 years): A systematic review. *Education* 3–13. <https://doi.org/10.1080/03004279.2025.2537102>

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

# TRANSFORMATION OF UNIVERSITY DIDACTICS IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NAVIGATING LEARNING

Zhumasheva S.S.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Kazakhstan, Almaty

## Abstract

The rapid advancement of artificial intelligence technologies has become one of the key factors transforming contemporary higher education systems and reshaping traditional models of university didactics. The integration of AI-supported educational technologies, including generative artificial intelligence, adaptive learning systems, intelligent tutoring platforms, and automated educational support tools, has significantly changed the organization of teaching and learning processes within universities. In this context, the concept of learning navigation has gained increasing importance, reflecting students' ability to independently manage educational trajectories, critically evaluate AI-generated information, and adapt to digitally mediated learning environments. The present study investigates the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence and examines the role of learning navigation within higher education institutions in Kazakhstan. The study aims to analyze how artificial intelligence influences academic autonomy, learning motivation, digital literacy, and pedagogical interaction in university education. Particular attention is devoted to the empirical examination of students' and academic staff's perceptions regarding AI-supported educational practices and the transformation of teaching models in the context of digitalization. The research is grounded in constructivist and learner-centered educational approaches emphasizing active knowledge construction, self-regulated learning, and personalized educational pathways. A quantitative research design was employed using a structured questionnaire developed on the basis of international studies related to artificial intelligence in education, digital pedagogy, and educational technology adoption. The empirical study involved 312 respondents, including undergraduate students, master's students, doctoral students, and university instructors from higher education institutions in Kazakhstan. Data collection was conducted between February and April 2026 through online survey distribution. The collected data were analyzed using SPSS Version 29 with the application of descriptive statistics, reliability analysis, Pearson correlation analysis, independent samples t-test, and multiple regression analysis. The findings demonstrated that artificial intelligence technologies are actively integrated into academic learning practices within universities in Kazakhstan. The majority of respondents reported frequent use of AI-supported tools for information retrieval, academic writing assistance, educational organization, and personalized learning support. The results revealed generally positive attitudes toward AI integration, particularly regarding flexibility of learning, access to educational resources, and enhancement of academic autonomy. Significant positive relationships were identified between AI usage, learning navigation, digital literacy, academic autonomy, and learning motivation. The regression analysis further confirmed that AI usage significantly predicts learning motivation and students' ability to independently navigate educational environments.

**Keywords:** artificial intelligence; university didactics; higher education; learning navigation; digital pedagogy; academic autonomy; AI-supported learning; digital literacy; educational transformation; Kazakhstan.

## Introduction

*Relevance of the study.* The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies is fundamentally transforming the architecture of higher education and reshaping the traditional paradigms of university didactics. The integration of generative AI systems, adaptive learning platforms, intelligent tutoring systems, and data-driven educational analytics has created a new educational ecosystem in which learning processes become increasingly personalized, flexible, and technologically mediated. In this context, universities are no longer limited to the transmission of disciplinary knowledge; instead, they are required to develop new pedagogical strategies that enable students to navigate complex digital learning environments effectively (Luckin et al., 2016). The emergence of AI-driven educational technologies has intensified discussions regarding the future of teaching and learning in higher education. Contemporary university didactics increasingly focuses on “learning navigation,” a concept that reflects the ability of students to independently manage educational trajectories, critically evaluate information, interact with intelligent systems, and construct personalized pathways of knowledge acquisition. This shift corresponds with the transition from teacher-centered instruction to learner-centered and competency-based education models (Zawacki-Richter et al., 2019). As AI systems automate routine cognitive operations and provide immediate feedback, the role of educators evolves from knowledge transmitters into facilitators, mentors, and navigators of learning experiences. Moreover, the digital transformation of higher education has accelerated significantly after the COVID-19 pandemic, which exposed structural limitations of traditional pedagogical approaches and stimulated the adoption of hybrid and online learning models worldwide (Bozkurt & Sharma, 2020). Universities increasingly employ AI-based tools for assessment, academic advising, predictive analytics, plagiarism detection, and adaptive content delivery. Consequently, didactic systems must adapt to new forms of interaction between students, teachers, and intelligent technologies. This transformation raises important pedagogical questions concerning academic autonomy, digital literacy, cognitive overload, ethical regulation, and the preservation of humanistic values in education (Holmes et al., 2022).

Another important aspect of the study's relevance lies in the growing need for navigation competencies within AI-supported educational environments. Students are now confronted with an unprecedented volume of digital information, algorithmically curated content, and automated recommendations. In such conditions, educational success increasingly depends on students' abilities to critically interpret AI-generated outputs, regulate self-directed learning, and maintain academic integrity while using intelligent technologies (Selwyn, 2019). Therefore, modern didactics should not only incorporate AI tools into teaching practice but also develop methodological frameworks that support meaningful and responsible interaction with artificial intelligence. In addition, higher education institutions face significant challenges related to the reconfiguration of curriculum design, assessment methods, and pedagogical communication. AI technologies transform not only instructional methods but also epistemological foundations of knowledge production. Generative AI systems, such as large language models, influence academic writing, research practices, and cognitive engagement, thereby prompting universities to reconsider traditional definitions of learning outcomes and educational quality (Kasneci et al., 2023). The transformation of didactics in the AI era, therefore, becomes both a technological and socio-cultural phenomenon that demands interdisciplinary scientific investigation. The relevance of this study is also connected to the insufficient empirical understanding of how AI influences didactic navigation processes in higher education. Although many studies discuss technological innovations in education, fewer investigations examine how students and teachers adapt to AI-mediated pedagogical environments and how these transformations affect motivation, autonomy, critical thinking, and educational interaction. Consequently, there is a need for empirical research

employing statistical methods, including SPSS-based analysis, to evaluate perceptions, attitudes, and effectiveness of AI-supported didactic practices in universities. Thus, the study of the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence is highly relevant due to the global digitalization of higher education, the emergence of new educational navigation models, and the need to develop evidence-based pedagogical strategies for AI-integrated learning environments. In Kazakhstan, the digital transformation of higher education has become one of the strategic priorities of national educational modernization. The implementation of digital learning platforms, AI-supported educational technologies, and online learning systems has accelerated within universities, particularly after the COVID-19 pandemic. However, despite technological advancements, many higher education institutions still face methodological and pedagogical challenges related to the effective integration of artificial intelligence into teaching and learning processes.

*Research problem.* Despite the rapid integration of artificial intelligence technologies into higher education, university didactics remains insufficiently adapted to the new realities of AI-mediated learning environments. Traditional pedagogical models were primarily designed for linear knowledge transmission and teacher-centered instruction, whereas contemporary educational ecosystems increasingly rely on adaptive learning systems, intelligent tutoring platforms, generative AI tools, and algorithm-driven educational interactions. This creates a contradiction between the accelerating technological transformation of higher education and the relatively slow methodological transformation of university didactics. One of the central problems is that higher education institutions often implement AI technologies without developing comprehensive didactic frameworks that explain how students should navigate learning processes in AI-supported environments. Although universities actively adopt digital tools, there is still limited understanding of how artificial intelligence influences cognitive engagement, academic autonomy, learning motivation, critical thinking, and pedagogical interaction. In many cases, AI integration is treated as a technological innovation rather than a pedagogical transformation, which leads to fragmented instructional practices and methodological inconsistency (Zawacki-Richter et al., 2019). Furthermore, the increasing use of generative AI systems such as ChatGPT, adaptive recommendation algorithms, and automated assessment technologies raises significant challenges for university teaching. Students are now able to access instant AI-generated information, automate parts of academic work, and personalize learning trajectories independently. However, universities still lack clear methodological approaches for organizing effective “learning navigation” within such environments. As a result, students may experience cognitive overload, reduced analytical engagement, superficial knowledge acquisition, and difficulties in distinguishing reliable information from algorithmically generated outputs (Kasneci et al., 2023).

Another dimension of the problem concerns the changing role of university educators. The emergence of AI transforms teachers from primary sources of knowledge into facilitators, coordinators, and navigators of educational experiences. Nevertheless, many instructors are insufficiently prepared for these new pedagogical roles due to limited digital competencies, lack of institutional support, and absence of evidence-based didactic models for AI integration (Holmes et al., 2022). Consequently, higher education systems face uncertainty regarding how to balance technological efficiency with humanistic and ethical dimensions of education. The research problem is therefore centered on the need to scientifically understand how university didactics is transforming in the era of artificial intelligence and how learning navigation can be effectively organized within AI-supported educational environments. This problem requires empirical investigation of students’ and teachers’ perceptions, experiences, and adaptive strategies in order to develop pedagogically grounded models of AI-integrated higher education. In the context of Kazakhstan, the integration of artificial intelligence into higher education often remains

technologically oriented rather than pedagogically structured. Universities actively adopt digital tools; however, there is still limited understanding of how AI should transform didactic practices, learning navigation, and student-centered educational interaction.

*Research gap.* Although the topic of artificial intelligence in education has gained significant scholarly attention in recent years, existing studies demonstrate several important theoretical and empirical limitations. First, the majority of contemporary research focuses primarily on the technological capabilities of AI systems, including adaptive learning platforms, automated grading, predictive analytics, and intelligent tutoring systems (Chen et al., 2020). Comparatively less attention has been devoted to the transformation of university didactics as a holistic pedagogical system within AI-mediated educational environments. Second, many studies examine AI integration from a technological or administrative perspective rather than from the standpoint of learning navigation and student agency. Existing literature frequently discusses efficiency, personalization, and automation, yet insufficiently explores how students navigate educational trajectories, regulate self-directed learning, and develop critical interaction with AI-generated knowledge. Consequently, the concept of “learning navigation” in the context of artificial intelligence remains underdeveloped both theoretically and methodologically. Third, there is a lack of empirical studies employing quantitative statistical analysis to evaluate the pedagogical impact of AI on higher education didactics. While conceptual and theoretical discussions dominate the field, fewer investigations use empirical data processed through statistical software such as SPSS to examine relationships between AI usage, learning motivation, academic engagement, digital competencies, and perceptions of educational quality. This creates a methodological gap in the literature. Additionally, much of the existing research has been conducted in Western educational contexts, while limited attention has been paid to the transformation of university didactics in post-Soviet and developing educational systems, including Central Asian higher education institutions. Cultural, institutional, and technological differences may significantly influence the adoption and pedagogical interpretation of AI technologies in universities. Therefore, there is insufficient comparative and region-specific evidence regarding how AI reshapes teaching and learning practices in diverse educational environments.

Another important gap concerns the changing role of educators in AI-driven learning ecosystems. Although researchers acknowledge that AI alters teacher-student interaction, there is still inadequate understanding of how instructors adapt to the role of educational navigators and how this transformation affects pedagogical communication, assessment practices, and academic ethics. Therefore, the present study seeks to address these gaps by investigating the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence through an empirical SPSS-based analysis of learning navigation processes, students’ perceptions, and pedagogical adaptation within higher education. The study contributes to the development of evidence-based didactic models for AI-integrated university education and expands the existing discourse beyond purely technological interpretations of artificial intelligence in education. Despite the growing international scholarship on AI in higher education, limited empirical research has examined the transformation of university didactics in Central Asian educational contexts, particularly in Kazakhstan.

*The aim of this study* is to investigate the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence and to analyze the role of learning navigation within AI-supported higher education environments through empirical statistical analysis using SPSS. To achieve the aim of the research, the following *objectives* were formulated:

1. To examine the theoretical foundations of artificial intelligence integration into higher education didactics.
2. To analyze the transformation of pedagogical interaction in AI-mediated educational environments.
3. To identify the influence of artificial intelligence technologies on students' learning navigation, academic autonomy, and motivation.
4. To investigate students' and instructors' perceptions of AI implementation in university teaching and learning processes.
5. To conduct statistical analysis using SPSS in order to determine significant relationships between AI usage and indicators of educational effectiveness.
6. To develop recommendations for improving university didactics in the context of artificial intelligence integration.

Hypothesis 1 (H1): There is a statistically significant positive relationship between the use of artificial intelligence technologies and students' learning motivation in higher education.

Hypothesis 2 (H2): AI-supported learning environments positively influence students' academic autonomy and self-directed learning navigation.

Hypothesis 3 (H3): Students with higher levels of digital literacy demonstrate more positive perceptions of AI integration into university didactics.

Null Hypothesis (H0): There is no statistically significant relationship between the implementation of AI technologies and the effectiveness of learning navigation in higher education.

*The object of the study* is the process of transformation of university didactics in higher education under conditions of artificial intelligence integration. *The subject of the study* is the influence of artificial intelligence technologies on learning navigation, pedagogical interaction, and educational practices in universities.

*Methodology of the study.* The study employs a quantitative research design supported by statistical analysis in SPSS. Data collection is conducted through a structured questionnaire distributed among university students and academic staff. The methodological framework includes descriptive statistics, reliability analysis, correlation analysis, independent samples t-test, and regression analysis to identify relationships between AI usage and educational indicators. The study is grounded in constructivist and learner-centered educational theories, which emphasize active knowledge construction, academic autonomy, and personalized learning pathways within digital educational environments. The empirical part of the study is based on data collected from students and academic staff of universities in Kazakhstan.

*The scientific novelty of this research* lies in the empirical investigation of learning navigation within AI-supported university didactics using SPSS-based statistical analysis. Unlike many previous studies that focus primarily on technological aspects of artificial intelligence, this study examines AI as a transformative pedagogical phenomenon influencing academic interaction, self-directed learning, and educational navigation strategies. Additionally, the research contributes to the limited body of empirical evidence concerning AI integration in higher education within non-Western and post-Soviet educational contexts. The study also proposes a conceptual understanding of "learning navigation" as a key didactic component in the era of artificial intelligence.

*Theoretical significance of the study.* The study contributes to the theoretical development of modern university didactics by expanding scientific understanding of how artificial intelligence



reshapes pedagogical interaction, educational communication, and learning autonomy. The findings enrich the interdisciplinary discourse on digital pedagogy, AI-supported education, and learner-centered instructional models. Furthermore, the concept of learning navigation proposed in this study may serve as a theoretical basis for future research on AI-mediated educational environments.

*The practical significance of the research* lies in the possibility of applying the findings to improve teaching strategies, curriculum design, and digital educational practices in higher education institutions. The study may assist university administrators, educators, and policymakers in developing effective pedagogical approaches for integrating artificial intelligence into educational processes. The recommendations developed through this study may also contribute to enhancing students' digital competencies, critical thinking skills, and academic autonomy in AI-supported learning environments. The study is expected to demonstrate that artificial intelligence significantly influences the transformation of university didactics and contributes to the development of personalized and adaptive learning environments. It is also anticipated that students with higher levels of digital competence will show more positive attitudes toward AI-supported learning navigation.

### **Literature Review**

The transformation of university didactics in the era of artificial intelligence has become one of the central issues in contemporary higher education research. Artificial intelligence is increasingly used in universities for adaptive learning, automated assessment, learning analytics, academic advising, intelligent tutoring, and personalized educational support. Zawacki-Richter et al. (2019) emphasize that although AI has been discussed in education for several decades, its pedagogical value in higher education remains insufficiently understood, especially from the perspective of teaching and learning practices rather than technological implementation alone. Their systematic review of 146 studies shows that AI research in higher education has mainly focused on profiling, prediction, assessment, and intelligent tutoring systems, while the didactic role of teachers and the transformation of instructional models remain underrepresented. Recent studies also show that AI is changing not only educational technologies but also the logic of learning itself. Chen et al. (2020) argue that AI in education enables personalization, automation, and intelligent decision-making, which can increase the flexibility and efficiency of learning. However, the authors also note that the effectiveness of AI depends on the pedagogical design of its use. In this regard, artificial intelligence should not be understood merely as a technical tool but as a factor that changes the structure of educational interaction, the role of the teacher, and the autonomy of the student.

The emergence of generative AI has further intensified discussions about university didactics. Kasneci et al. (2023) note that large language models can support academic writing, feedback, brainstorming, tutoring, and personalized learning, but they also create risks related to academic integrity, misinformation, overreliance on AI-generated content, and reduced critical thinking. Therefore, the integration of AI into higher education requires new didactic strategies that teach students not only how to use AI tools but also how to critically evaluate, verify, and ethically apply AI-generated information. A significant part of the literature highlights the transformation of the teacher's role in AI-supported education. Traditional university didactics was largely based on the transmission of knowledge from teacher to student. In contrast, AI-mediated learning environments require teachers to act as facilitators, mentors, designers of learning trajectories, and navigators of digital educational resources. Holmes et al. (2022) argue that AI can support teachers by automating routine tasks and providing data for individualized instruction, but it cannot replace the human dimensions of education, including ethical judgment, emotional support, pedagogical interpretation, and social interaction. The concept of learning navigation becomes especially important in this context. Learning navigation refers to students' ability to

orient themselves within complex digital and AI-supported educational environments, select appropriate learning resources, regulate their learning behavior, interpret AI-generated recommendations, and construct individual educational trajectories. Viberg et al. (2020) emphasize that digital learning environments require a high level of self-regulated learning, since students must independently manage their goals, motivation, time, and learning strategies. In AI-supported higher education, this ability becomes even more important because algorithmic systems may influence what students read, how they complete assignments, and how they understand academic knowledge.

Another important direction in the literature concerns ethical and social challenges of AI integration in universities. Selwyn (2019) warns that AI in education should not be viewed only through the lens of efficiency and automation. Instead, researchers should consider questions of power, inequality, surveillance, data privacy, academic freedom, and the possible dehumanization of education. Williamson and Eynon (2020) similarly argue that AI-driven educational systems are not neutral technologies; they reflect institutional, political, and economic interests. Therefore, university didactics in the AI era must include not only methodological and technological dimensions but also ethical, social, and humanistic considerations. In the context of Kazakhstan, the relevance of AI-supported didactic transformation is increasing due to national policies aimed at digitalization and the development of artificial intelligence. The Government of Kazakhstan adopted the Concept for Artificial Intelligence Development for 2024–2029, which positions AI as a strategic direction for national modernization. In higher education, Kazakhstan is also implementing digital modernization initiatives, including cooperation with global online learning platforms such as Coursera. Recent government information also states that AI-related skills have been incorporated into educational programs and that many Kazakhstani universities have introduced AI-related disciplines.

Kazakhstan-based studies indicate that digital transformation in higher education is connected with the expansion of access, personalization of learning, institutional readiness, and the development of digital competencies. Nazyrova et al. (2025) examine digital transformation in Kazakhstani higher education and emphasize that the success of AI-driven modernization depends not only on technological infrastructure but also on teacher competencies, institutional strategy, and the quality of pedagogical implementation. This is important for the present study because it confirms that the transformation of university didactics in Kazakhstan cannot be reduced to the introduction of digital platforms; it requires a deeper reconsideration of teaching methods, student support, assessment, and learning navigation. Despite the growing number of studies on AI in higher education, several research gaps remain. First, many international studies focus on technological opportunities and risks, while fewer works examine the transformation of university didactics as a pedagogical system. Second, the concept of learning navigation in AI-supported education remains insufficiently developed. Third, empirical studies using quantitative methods, including SPSS-based analysis, are still needed to examine how students perceive AI, how AI affects motivation and autonomy, and how digital literacy influences learning outcomes. Finally, the Kazakhstani context remains underrepresented in the international literature, even as the country actively develops AI-related educational policies and digital transformation strategies. Thus, the reviewed literature demonstrates that artificial intelligence is transforming higher education at technological, pedagogical, ethical, and institutional levels. However, there is a need for empirical research to examine how AI is changing university didactics in Kazakhstan and how students navigate learning processes in AI-supported educational environments.

### **Research methodology**

The study employed a quantitative research design to investigate the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence and to analyze the role of learning navigation in higher education institutions in Kazakhstan. The quantitative approach was selected because it

enables the systematic measurement of students' perceptions, attitudes, and experiences related to AI-supported educational environments, as well as the identification of statistically significant relationships among variables using SPSS. The research was conducted using a cross-sectional survey method, enabling the collection of empirical data from university students and academic staff within a defined period. The study focused on evaluating the influence of artificial intelligence technologies on learning motivation, academic autonomy, digital competencies, and educational navigation practices. The empirical study involved respondents from higher education institutions in Kazakhstan, including undergraduate students, master's students, doctoral students, and university instructors. The participants were selected using a stratified sampling strategy to ensure representation from different academic disciplines and educational levels. A total of  $N = 312$  respondents participated in the study.

**Table 1. Demographic characteristics of respondents (N = 312)**

| <i>Variable</i>                      | <i>Category</i>                | <i>Frequency<br/>(n)</i> | <i>Percentage<br/>(%)</i> |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <i>Gender</i>                        | Female                         | 183                      | 58.7                      |
|                                      | Male                           | 129                      | 41.3                      |
| <i>Age</i>                           | 18–22 years                    | 169                      | 54.2                      |
|                                      | 23–30 years                    | 99                       | 31.7                      |
|                                      | 31 years and above             | 44                       | 14.1                      |
| <i>Academic Status</i>               | Undergraduate students         | 192                      | 61.5                      |
|                                      | Master's students              | 57                       | 18.3                      |
|                                      | Doctoral students              | 23                       | 7.4                       |
|                                      | Academic staff                 | 40                       | 12.8                      |
| <i>Type of University</i>            | Public university              | 221                      | 70.8                      |
|                                      | Private university             | 91                       | 29.2                      |
| <i>Region of Study</i>               | Almaty                         | 118                      | 37.8                      |
|                                      | Astana                         | 84                       | 26.9                      |
|                                      | Shymkent                       | 43                       | 13.8                      |
|                                      | Other regions of Kazakhstan    | 67                       | 21.5                      |
| <i>Field of Study</i>                | Social Sciences and Humanities | 97                       | 31.1                      |
|                                      | Pedagogical sciences           | 64                       | 20.5                      |
|                                      | Engineering and IT             | 73                       | 23.4                      |
|                                      | Business and Economics         | 45                       | 14.4                      |
|                                      | Natural Sciences               | 33                       | 10.6                      |
|                                      | Low                            | 29                       | 9.3                       |
| <i>Level of Digital Literacy</i>     | Moderate                       | 146                      | 46.8                      |
|                                      | High                           | 137                      | 43.9                      |
| <i>Frequency of AI Usage</i>         | Daily                          | 124                      | 39.7                      |
|                                      | Several times per week         | 113                      | 36.2                      |
|                                      | Rarely                         | 58                       | 18.6                      |
|                                      | Never                          | 17                       | 5.5                       |
|                                      | ChatGPT                        | 201                      | 64.4                      |
| <i>Most Frequently Used AI Tools</i> | Grammarly                      | 49                       | 15.7                      |
|                                      | Google Gemini                  | 36                       | 11.5                      |
|                                      | Other AI tools                 | 26                       | 8.4                       |

The primary research instrument used in this study was a structured questionnaire developed on the basis of previous international research on artificial intelligence in education, digital pedagogy, self-regulated learning, educational technology adoption, and AI-supported higher education environments (Zawacki-Richter et al., 2019; Viberg et al., 2020; Kasneci et al., 2023). The questionnaire was designed to investigate the transformation of university didactics in the context of artificial intelligence and to examine students' perceptions of learning navigation within higher education institutions in Kazakhstan.

The questionnaire consisted of four main sections. The first section collected demographic information about the respondents, including age, gender, academic status, university affiliation, level of digital literacy, and frequency of artificial intelligence tool usage. This section was intended to provide a socio-demographic profile of the participants and to identify possible differences between respondent groups.

The second section focused on the use of artificial intelligence technologies in higher education. Respondents were asked to evaluate the frequency and effectiveness of AI usage in their academic activities. The statements included items such as: "I regularly use AI tools for academic learning," "Artificial intelligence helps me organize my learning process," and "AI technologies improve access to educational resources." This section aimed to measure the degree of AI integration into students' educational practices and their perceptions of its usefulness. The third section examined learning navigation and academic autonomy within AI-supported educational environments. Particular attention was given to students' ability to independently manage learning processes, critically evaluate AI-generated information, and regulate their educational trajectories. The statements included: "AI technologies help me independently manage my educational trajectory," "I can critically evaluate AI-generated academic information," and "AI-supported learning increases my academic autonomy." This section reflected the growing importance of self-directed learning and educational navigation in digital higher education. The fourth section investigated respondents' perceptions regarding the transformation of university didactics caused by artificial intelligence integration. This section explored attitudes toward changing teaching methods, the evolving role of instructors, and the need for new pedagogical approaches in higher education. Example statements included: "Artificial intelligence is transforming traditional teaching methods," "Teachers should act as learning navigators rather than only knowledge transmitters," and "AI integration requires new didactic approaches in higher education." All attitudinal items in the questionnaire were measured using a five-point Likert scale, where 1 indicated "Strongly disagree," 2 — "Disagree," 3 — "Neutral," 4 — "Agree," and 5 — "Strongly agree." The Likert scale was selected because it allows for the quantitative measurement of subjective perceptions, attitudes, and experiences related to AI-supported learning. Furthermore, the use of a standardized scale enabled the application of statistical analysis in SPSS, including descriptive statistics, correlation analysis, reliability testing, and regression analysis.

The questionnaire was evaluated by *five independent academic experts* specializing in educational sciences and digital pedagogy:

| <b>Expert No.</b> | <b>Academic Position</b> | <b>Area of Expertise</b>             |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Expert No. 1      | Professor of Pedagogy    | Higher Education Didactics           |
| Expert No. 2      | Associate Professor      | Educational Technologies             |
| Expert No. 3      | PhD Researcher           | Artificial Intelligence in Education |
| Expert No. 4      | Senior Lecturer          | Digital Learning Methodology         |
| Expert No. 5      | Professor                | Educational Psychology               |

The experts recommended minor revisions related to wording clarity and contextual adaptation to Kazakhstani higher education institutions. To assess internal consistency reliability,

Cronbach's Alpha coefficient was calculated in SPSS. The reliability results demonstrated high internal consistency:

- AI Usage Scale —  $\alpha = 0.87$
- Learning Navigation Scale —  $\alpha = 0.91$
- Didactic Transformation Scale —  $\alpha = 0.89$
- Overall questionnaire reliability —  $\alpha = 0.92$

According to Hair et al. (2019), Cronbach's Alpha values above 0.70 indicate acceptable reliability, confirming that the instrument was statistically reliable for empirical analysis.

Data collection was conducted between February and April 2026 through online survey distribution using Google Forms and university academic networks among students and academic staff of higher education institutions in Kazakhstan. Participation in the study was voluntary, anonymous, and based on informed consent. Prior to completing the questionnaire, respondents were informed about the purpose of the research, the confidentiality of responses, the academic use of collected data, and the ethical principles of participation. The average completion time for the questionnaire was approximately 12–15 minutes. The collected data were analyzed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Version 29). The analysis included descriptive statistics to determine mean values, standard deviations, percentages, and frequency distributions. Reliability analysis was conducted using Cronbach's Alpha coefficients in order to evaluate the internal consistency of questionnaire scales. Pearson correlation analysis was applied to identify relationships between AI usage, learning navigation, academic autonomy, learning motivation, and digital literacy. In addition, an independent samples t-test was used to compare differences between demographic groups regarding attitudes toward AI-supported learning environments. Multiple regression analysis was also performed to examine whether AI usage significantly predicts learning motivation and academic autonomy among respondents. Statistical significance for all analyses was established at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.05$ ,  $p < 0.05$ . The study complied with academic ethical standards for educational research, and all personal data were anonymized to ensure confidentiality and privacy protection. The validity and reliability of the research instrument were additionally confirmed through expert evaluation and statistical testing. The questionnaire was reviewed by specialists in higher education pedagogy, digital learning, and artificial intelligence in education, who confirmed the relevance and clarity of the survey items. Minor revisions related to wording and contextual adaptation to Kazakhstani higher education institutions were incorporated following expert recommendations. The reliability analysis demonstrated high internal consistency of the scales, with Cronbach's Alpha coefficients exceeding the acceptable threshold of 0.70, indicating that the questionnaire was statistically reliable and appropriate for empirical analysis within the context of AI-supported university didactics.

### **Results of the study**

The results of the study demonstrated that artificial intelligence technologies are actively integrated into the educational practices of higher education institutions in Kazakhstan. The majority of respondents reported regular use of AI-supported tools for academic learning, information search, academic writing assistance, and organization of educational activities. Descriptive statistical analysis revealed generally positive attitudes toward the role of artificial intelligence in university didactics and learning navigation. The findings showed that respondents positively evaluated the usefulness of AI technologies in supporting educational processes. The highest mean scores were observed for statements related to access to educational resources, flexibility of learning, and academic autonomy. Students indicated that AI tools helped them manage educational tasks more efficiently, personalize learning trajectories, and improve time management skills. At the same time, several respondents expressed concerns regarding excessive dependence on AI-generated information, reduced critical thinking, and possible risks

to academic integrity. These findings indicate that the transformation of university didactics in the AI era is accompanied not only by technological opportunities but also by pedagogical and ethical challenges. Table 2 presents the descriptive statistics of the main variables examined in the study. The findings indicate relatively high levels of artificial intelligence usage among respondents, suggesting that AI technologies are becoming an integral component of academic learning in higher education institutions of Kazakhstan. In particular, students demonstrated positive perceptions regarding the role of AI-supported educational tools in improving access to learning materials, facilitating academic communication, and enhancing flexibility within the educational process.

**Table 2. Descriptive Statistics of Main Research Variables**

| Variable                                       | Mean (M) | Standard Deviation (SD) |
|------------------------------------------------|----------|-------------------------|
| <i>AI Usage in Learning</i>                    | 4.18     | 0.73                    |
| <i>Learning Navigation</i>                     | 4.09     | 0.68                    |
| <i>Academic Autonomy</i>                       | 3.97     | 0.71                    |
| <i>Digital Literacy</i>                        | 4.11     | 0.66                    |
| <i>Learning Motivation</i>                     | 4.03     | 0.74                    |
| <i>Satisfaction with AI-Supported Learning</i> | 4.14     | 0.69                    |

As shown in Table 1, the highest mean score was identified for AI usage in learning  $M=4.18$ , indicating that respondents frequently utilize artificial intelligence technologies in their educational activities. A similarly high result was observed for satisfaction with AI-supported learning  $M=4.14$ , suggesting that most participants positively evaluate the integration of AI tools into university education. The findings also demonstrate relatively strong levels of digital literacy among respondents  $M=4.11$ , which may explain the high degree of acceptance of AI-mediated learning environments. The analysis further revealed that students perceive artificial intelligence as a significant factor contributing to academic autonomy and independent learning navigation. Respondents reported that AI technologies help them personalize educational trajectories, organize academic tasks more effectively, and access educational resources more efficiently. At the same time, moderate variability in responses, reflected in the standard deviation values, indicates that attitudes toward AI integration are not entirely homogeneous and may depend on factors such as digital competence, academic specialization, and previous experience with educational technologies. In addition to descriptive statistics, the study examined the frequency of AI tool usage among respondents. The findings demonstrated that ChatGPT was the most frequently used AI platform in academic learning, particularly for information retrieval, academic writing support, idea generation, and text editing.

The results presented in Figure 1 indicate that generative AI systems are becoming increasingly integrated into students' educational practices in Kazakhstan. More than half of the respondents reported regular use of ChatGPT for academic purposes, highlighting the growing role of conversational artificial intelligence in higher education. Respondents emphasized that AI tools assist them in structuring academic materials, improving language accuracy, generating summaries, and simplifying access to information. Nevertheless, several participants also noted concerns related to overdependence on AI-generated content and possible reductions in analytical and critical thinking skills.



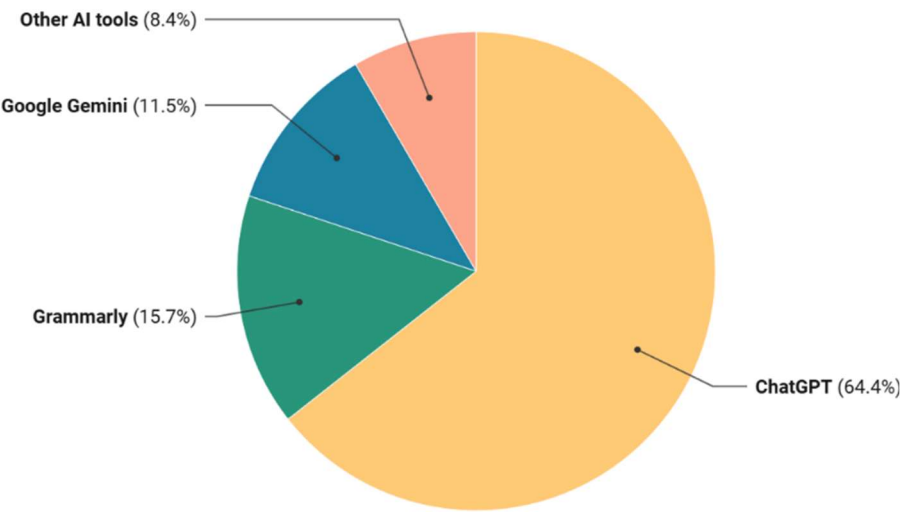


Figure 1. Most frequently used AI tools among respondents

To further examine relationships among the key research variables, Pearson correlation analysis was conducted. The findings revealed statistically significant positive relationships between AI usage, learning navigation, academic autonomy, digital literacy, and learning motivation.

Table 3. Pearson correlation analysis of main variables

| Variables              | 1     | 2     | 3     | 4     | 5 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|---|
| 1. AI Usage            | —     |       |       |       |   |
| 2. Learning Navigation | .61** | —     |       |       |   |
| 3. Academic Autonomy   | .58** | .64** | —     |       |   |
| 4. Digital Literacy    | .55** | .59** | .62** | —     |   |
| 5. Learning Motivation | .63** | .67** | .60** | .57** | — |

\*\*p<0.01

The strongest positive relationship was identified between learning navigation and learning motivation  $r=0.67$ ,  $p<0.01$ , indicating that students who are more capable of navigating AI-supported educational environments tend to demonstrate higher levels of academic motivation. A significant positive relationship was also observed between AI usage and academic autonomy  $r=0.58$ ,  $p<0.01$ , suggesting that active use of artificial intelligence technologies contributes to independent learning and self-regulated educational behavior. The study additionally explored differences between respondents with varying levels of digital literacy. An independent samples t-test revealed statistically significant differences regarding perceptions of AI-supported learning environments.

Table 4. Independent samples T-test results by digital literacy level

| Variable            | High Digital Literacy | Low Digital Literacy | t    | p     |
|---------------------|-----------------------|----------------------|------|-------|
| AI Acceptance       | 4.31                  | 3.67                 | 3.87 | 0.001 |
| Learning Navigation | 4.24                  | 3.59                 | 4.02 | 0.000 |

The findings presented in Table 4 indicate that respondents with higher levels of digital literacy demonstrate significantly more positive attitudes toward AI integration in higher education. These participants also reported greater confidence in navigating AI-supported

educational systems and evaluating AI-generated academic information critically. Finally, multiple regression analysis was conducted to determine whether AI usage significantly predicts learning motivation and academic autonomy among students.

**Table 5. Multiple Regression Analysis**

| <i>Predictor Variable</i>                                  | <i><math>\beta</math></i> | <i>t</i> | <i>p</i> |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|----------|
| <i>AI Usage → Learning Motivation</i>                      | 0.47                      | 6.13     | 0.000    |
| <i>AI Usage → Academic Autonomy</i>                        | 0.42                      | 5.71     | 0.000    |
| <i>Learning Navigation → Satisfaction with AI Learning</i> | 0.51                      | 6.88     | 0.000    |

The regression analysis demonstrated that AI usage significantly predicts both learning motivation and academic autonomy among university students in Kazakhstan. In particular, learning navigation emerged as one of the strongest predictors of satisfaction with AI-supported learning environments. These findings confirm that artificial intelligence technologies influence not only technological aspects of education but also broader didactic processes related to student engagement, independent learning, and educational interaction.

### Discussion

The findings of the present study demonstrate that artificial intelligence technologies are becoming increasingly integrated into the educational practices of higher education institutions in Kazakhstan and are actively transforming contemporary university didactics. The results confirm that AI-supported learning environments contribute to greater academic autonomy, flexible learning organization, and personalized educational navigation. These findings correspond with previous international studies emphasizing that artificial intelligence is reshaping not only technological aspects of education but also broader pedagogical structures and learning models (Zawacki-Richter et al., 2019; Holmes et al., 2022). One of the most significant findings of the study is the high level of AI usage among students. The majority of respondents reported regular use of AI technologies for academic learning, information search, academic writing assistance, and organization of educational activities. This result aligns with the conclusions of Kasneci et al. (2023), who argue that generative AI systems increasingly function as academic assistants capable of supporting educational productivity, content generation, and self-directed learning. At the same time, the current findings extend existing literature by demonstrating that AI-supported learning practices are also becoming widespread within the context of Kazakhstan's higher education system.

The study also revealed strong positive relationships between AI usage, learning navigation, academic autonomy, and learning motivation. In particular, students with higher levels of digital literacy demonstrated significantly more positive perceptions of AI integration into educational environments. These findings support the arguments proposed by Viberg et al. (2020), who emphasize that self-regulated learning competencies become critically important in digital educational ecosystems. The results indicate that artificial intelligence may enhance students' ability to independently manage learning trajectories, organize academic tasks, and personalize educational strategies. Consequently, AI technologies can function not merely as informational tools but as mechanisms facilitating autonomous educational behavior and active student engagement. Another important finding concerns the concept of learning navigation. The correlation analysis demonstrated that effective navigation within AI-supported educational environments is positively associated with higher levels of learning motivation and satisfaction with educational experiences. This suggests that successful adaptation to AI-mediated education depends not only on technological access but also on students' ability to critically interpret AI-generated information, regulate educational behavior, and make informed academic decisions.

These findings support learner-centered and constructivist approaches to higher education, which emphasize active knowledge construction and independent learning management (Luckin et al., 2016).

The study further confirms that the transformation of university didactics in the AI era involves substantial changes in the role of educators. Respondents generally agreed that teachers should increasingly function as facilitators, mentors, and navigators of educational experiences rather than exclusively as transmitters of knowledge. This finding corresponds with Holmes et al. (2022), who argue that artificial intelligence does not replace the pedagogical role of educators but instead transforms teaching into a more guidance-oriented and student-centered activity. Within AI-supported educational environments, instructors become responsible for supporting critical thinking, ethical reasoning, digital literacy, and responsible use of AI-generated knowledge. At the same time, the study identified several challenges associated with the growing integration of artificial intelligence into higher education. Respondents expressed concerns regarding excessive dependence on AI-generated information, reduced analytical thinking, and risks to academic integrity. These findings correspond with Selwyn's (2019) argument that AI technologies may contribute to the automation of educational practices in ways that potentially weaken reflective and critical dimensions of learning. Similarly, Williamson and Eynon (2020) emphasize that AI systems are not pedagogically neutral and may reinforce inequalities, algorithmic dependency, and surveillance-oriented educational models. The concerns identified in the current study therefore indicate that the transformation of university didactics should not be understood exclusively as a technological process but also as an ethical and socio-cultural transformation requiring careful pedagogical regulation. An important contribution of the present study lies in its focus on Kazakhstan as a developing post-Soviet educational context. Much of the existing literature on artificial intelligence in higher education has concentrated on Western universities, whereas empirical evidence from Central Asian educational systems remains limited. The findings demonstrate that Kazakhstani universities are actively adopting AI-supported technologies; however, institutional adaptation remains uneven and still requires methodological and pedagogical development. This observation supports the conclusions of Nazyrova et al. (2025), who emphasize that successful digital transformation in Kazakhstan depends not only on technological infrastructure but also on institutional readiness, teacher competencies, and pedagogical innovation.

### Conclusion

The present study investigated the transformation of university didactics in the era of artificial intelligence and examined the role of learning navigation within higher education institutions in Kazakhstan. The findings demonstrated that artificial intelligence technologies are increasingly integrated into educational practices and significantly influence learning organization, academic interaction, and students' educational experiences. The empirical results confirmed that AI-supported educational environments contribute to greater academic autonomy, personalized learning trajectories, flexibility of educational processes, and increased student motivation. The study revealed that the majority of respondents actively use artificial intelligence technologies for academic learning, information retrieval, academic writing support, and educational organization. In particular, generative AI tools such as ChatGPT have become important components of students' everyday educational practices. At the same time, the findings showed that students with higher levels of digital literacy demonstrate more positive perceptions of AI integration and greater confidence in navigating AI-supported learning environments. The correlation and regression analyses confirmed statistically significant relationships between AI usage, learning navigation, academic autonomy, digital literacy, and learning motivation. The results indicate that effective learning navigation functions as one of the key factors supporting successful adaptation to AI-mediated educational systems. Thus, artificial intelligence should be understood not only as

a technological innovation but also as a transformative pedagogical phenomenon influencing the structure of university didactics and the role of educational participants. The study additionally identified several important challenges associated with AI integration into higher education. Respondents expressed concerns regarding excessive dependence on AI-generated information, risks to academic integrity, reduced critical thinking, and possible overreliance on automated educational support systems. These findings demonstrate that the transformation of university didactics in the AI era requires not only technological modernization but also the development of ethical, methodological, and human-centered pedagogical approaches. The research contributes to the existing scientific discourse by expanding empirical understanding of AI-supported higher education within the context of Kazakhstan. Unlike many previous studies focused primarily on Western educational systems, the present research demonstrates the specific characteristics and challenges of AI integration within a post-Soviet and rapidly digitalizing higher education environment. The findings confirm that successful implementation of artificial intelligence in universities depends on institutional readiness, digital competencies, pedagogical adaptation, and the development of evidence-based didactic models.

## References

1. Bozkurt, A., & Sharma, R. C. (2020). Emergency remote teaching in a time of global crisis due to Coronavirus pandemic. *Asian Journal of Distance Education*, 15(1), i–vi. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3778083>
2. Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
3. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
4. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
5. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeiffer, F., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
6. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education.
7. Nazyrova, A., Kadyr, Y., Sadykova, G., & Zhukabayeva, T. (2025). The digital transformation of higher education in the context of an AI-driven future. *Sustainability*, 17(22), 9927. <https://doi.org/10.3390/su17229927>
8. Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
9. Viberg, O., Khalil, M., & Baars, M. (2020). Self-regulated learning and learning analytics in online learning environments: A review of empirical research. *Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 524–533. <https://doi.org/10.1145/3375462.3375483>
10. Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 223–235. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995>
11. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: Where are the

- educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, Article 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
12. Zhao, Y. (2021). Build back better: Avoid the learning loss trap. *Prospects*, 51(4), 557–561. <https://doi.org/10.1007/s11125-021-09544-y>

# THE INFLUENCE OF SCRIPTED GAME TASKS ON FUNCTIONAL LITERACY IN TEACHING BIOLOGY

**Dilmurat Aizhanar**

Master's student, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Republic of Kazakhstan

**Anargul Sailaubekovna Sharipkhanova**

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Republic of Kazakhstan

**Abstract.** The article examines the influence of scenario-based game tasks on the development of students' functional literacy in biology education. The study was conducted among 10th-grade students based on the ecology unit of the biology curriculum. Scenario-based game activities such as "Environmental Court," "Saving the Ecosystem," and "Environmental Debate" were implemented during the experimental instruction. The primary aim of the research was to determine the impact of game-based tasks on students' ability to apply biological knowledge in real-life situations, analyze ecological problems, and make practical decisions. The pedagogical experiment method was employed in the study, and the results of the control and experimental groups were comparatively analyzed. The findings demonstrated that scenario-based game tasks effectively contribute to the development of students' cognitive, analytical, practical-applied, and communicative skills. In addition, game technologies were found to increase students' interest in the subject and activate their learning engagement. The results of the study provide a basis for considering scenario-based game tasks in biology education as an effective methodological tool for the development of functional literacy.

**Keywords:** biology education, functional literacy, scenario-based game tasks, Game-Based Learning, ecology unit, ecological education, game technology, biological knowledge, pedagogical experiment, students' cognitive activity, communicative skills, practical learning.

In the contemporary educational landscape, the acquisition of subject-specific knowledge alone is no longer considered sufficient for students. One of the principal priorities of modern education systems is the development of functional literacy, which enables learners to apply acquired knowledge in real-life situations, analyze information, make informed decisions, and independently solve practical problems. In this regard, the teaching content of biology is gradually shifting from a predominantly reproductive model toward an activity-based, practice-oriented, and competency-focused approach. Particularly within the natural sciences, the development of functional literacy is closely associated not only with students' scientific understanding of natural phenomena, but also with the formation of conscious attitudes toward ecological, physiological, and biological issues.

The content of biology education provides extensive opportunities for the development of functional literacy, as the subject encompasses life-related issues such as human health, ecosystems, interrelationships among living organisms, environmental processes, and biotechnological phenomena. Nevertheless, in current school practice, biology instruction remains largely focused on memorization of theoretical information, which limits students' ability to apply knowledge effectively in authentic contexts. Under such conditions, learners' interest in the subject tends to decline, while their educational activity becomes increasingly passive.



Consequently, there is a growing need to introduce innovative instructional methods that promote active cognitive engagement, model real-life situations, and foster practical decision-making skills within the learning process.

From this perspective, scenario-based game tasks represent one of the most effective pedagogical tools in biology education. Through the creation of authentic or simulated biological situations, these tasks enable learners to develop analytical, comparative, argumentative, and decision-making skills, as well as the ability to apply biological knowledge in practice. Such activities transform students from passive recipients of information into active problem-solvers, researchers, and participants in the educational process. Furthermore, scenario-based games contribute to the enhancement of learners' communicative competence, collaborative work culture, and functional thinking abilities.

In the context of today's digital and information-driven society, the structure of functional literacy has become increasingly complex. During biology lessons, students are expected to interpret scientific information, analyze data, evaluate ecological and health-related issues, and make evidence-based decisions grounded in biological knowledge. In addressing these educational demands, scenario-based game tasks establish meaningful connections between instructional content and real-life experience, thereby enabling learners to transform theoretical knowledge into practical action. In particular, game models grounded in problem-based situations contribute to the activation of students' functional engagement, the comprehensive understanding of biological phenomena, and the enhancement of learning motivation.

The relevance of this study is determined by the necessity to identify the pedagogical potential of systematically applying scenario-based game tasks in biology education for the development of students' functional literacy. In addition, the increasing demand for practice-oriented instructional methods aimed at improving functional literacy within contemporary educational practice further enhances the significance of the research. Therefore, determining the effectiveness of scenario-based game tasks in biology lessons and evaluating their impact on students' functional performance constitute important scientific and pedagogical issues.

The purpose of the study is to determine the influence of scenario-based game tasks on students' functional literacy in the process of teaching biology and to substantiate their pedagogical effectiveness. The study systematizes scenario-based game tasks adapted for biology instruction and analyzes their impact on students' practical thinking, application of biological knowledge, and ability to solve real-life situations.

The issue of applying scenario-based game tasks in biology education is directly associated with the contemporary educational emphasis on the development of functional literacy. International studies regard game-based learning as an active instructional approach that not only facilitates the acquisition of subject-specific knowledge but also promotes learners' ability to apply knowledge in authentic situations, make decisions, justify arguments, and conduct analytical reasoning. For example, P. Mikrouli and colleagues emphasize that game-based learning is implemented across various levels of education and contributes significantly to learners' motivation, engagement, academic achievement, and skill development [1]. This perspective supports the argument that the use of scenario-based games in biology lessons should not merely be viewed as a motivational tool, but rather as a methodological mechanism for the formation of functional activity.

The effectiveness of game technologies in science education has also been extensively examined in systematic reviews. R.R. Safitri and co-authors systematized the influence of game-based learning approaches on the mastery of scientific concepts in primary and secondary education, emphasizing their contribution to competency development and improved educational outcomes [2]. This study demonstrates that scenario-based game tasks in biology transform

students from passive recipients of ready-made information into active subjects capable of solving scientific problems.

Ding and colleagues, while comparing serious game-based learning and learning-by-making-games approaches, demonstrated that game-oriented pedagogy can be implemented through diverse methodological models rather than through a single instructional format [3]. This conclusion substantiates the possibility of applying scenario-based game tasks in biology lessons through various formats, including role-playing situations, laboratory simulations, ecological decision-making models, and analyses of medical cases. In biology education, students' functional literacy becomes particularly evident when game content is connected with real-life problems.

International research also identifies game-based biology instruction as an effective means of facilitating the comprehension of complex and abstract concepts. In the study conducted by Seddighi-Khavidak, game formats such as virtual escape rooms in biology education were found to support students' understanding of difficult topics, particularly when feedback mechanisms and collaborative activities were integrated into the learning process [4]. This finding indicates that the structure of scenario-based game tasks in biology should necessarily include a problem situation, assigned roles, an action algorithm, decision-making processes, and reflective activities.

Zhang's research demonstrates that game-based learning has been widely implemented in biology education across different educational levels and contributes significantly to students' understanding of biological concepts [5]. Such evidence suggests that scenario-based game tasks in biology are directed not merely toward memorization of concepts but toward their application in authentic contexts. Topics such as ecosystem imbalance, infectious disease transmission, healthy nutrition, genetic counseling, and biodiversity conservation acquire functional significance when presented through scenario-based games.

Systematic reviews devoted to gamification in science education further confirm that game elements intensify the learning process. The study "Gamification in Science Education," which analyzed empirical research conducted between 2012 and 2020, revealed that gamification enhances learners' motivation, active participation, and academic achievement in science disciplines [6]. However, these studies also emphasize that game elements alone do not guarantee educational effectiveness; rather, they must be carefully aligned with learning objectives, assessment criteria, and specific subject content.

Scenario-based learning has likewise gained considerable importance in biology education. Research on the application of scenario-oriented instruction within virtual biology environments indicates that scenarios immerse learners in authentic situations and enable them to acquire subject knowledge through active engagement [7]. Consequently, when scenario-based game tasks are integrated into biology lessons, students are not limited to answering questions but are required to perform specific roles, work with data, formulate hypotheses, and make decisions.

Studies in biomedical science education also demonstrate that gamification tools encourage active learner participation. May's research describes the implementation of the scenario-based Resimion platform in biomedical education, highlighting its positive influence on students' interest and engagement in the learning process [8]. This finding confirms that scenario-based game tasks in biology can be effectively adapted not only for secondary school students but also for college and university learners.

Within the Kazakhstani educational context, the issue of functional literacy is closely connected with PISA assessment outcomes. According to OECD data, Kazakhstan demonstrated lower-than-average OECD performance in mathematics, reading, and scientific literacy in the PISA 2022 assessment [9]. These results indicate the necessity of strengthening students' ability to apply scientific knowledge in real-life situations, particularly within natural science disciplines such as biology.

According to OECD Education GPS data, the average science literacy score of 15-year-old students in Kazakhstan was 423 points, whereas the OECD average reached 485 points [10]. This disparity highlights the importance of implementing instructional approaches in biology education that engage students in analytical reasoning, argumentation, data interpretation, and decision-making processes rather than focusing exclusively on theoretical instruction. Scenario-based game tasks correspond effectively to these objectives because they connect educational content with authentic life situations.

The issue of developing functional literacy in Kazakhstan is also systematically addressed in the methodological recommendations of the National Academy of Education named after Y. Altynsarin. These materials emphasize the necessity of linking subject knowledge with practical tasks, educational objectives, and real-life contexts in order to enhance functional literacy [11]. This significantly increases the methodological value of scenario-based game tasks in biology, as they facilitate the transformation of theoretical knowledge into practical solutions.

Among Kazakhstani studies, the work of N.P. Korogod and S.E. Zhumatayeva on developing students' functional literacy through preparation for intellectual competitions in biology is of particular significance [12]. Their research associates functional literacy not only with improved academic achievement in biology but also with students' abilities to analyze, compare, and solve complex tasks. From this perspective, scenario-based game tasks may be regarded as instruments integrating intellectual, problem-oriented, and practical activities.

In the study conducted by Muratbek, Armiyaeva, and Izbassarova, the application of web-based didactic games in biology lessons was examined as a means of increasing students' cognitive activity [13]. This work demonstrates the practical feasibility of integrating game elements into biology education within the Kazakhstani context. Scenario-based game tasks further expand this direction by transforming simple gaming elements into complex educational activities aimed at solving authentic biological problems.

Kazakhstani scholars have also begun to examine the methodological potential of gamification in biology education. In the article by Zh. Zhumagul, the application of gamification elements in biology teaching is described as an effective means of facilitating the comprehension of complex scientific concepts in a more accessible and visual form [14]. This supports the argument that scenario-based game tasks enable students to interpret biological concepts within real-life contexts, enhance subject interest, and increase educational engagement.

Furthermore, pedagogical research in Kazakhstan frequently emphasizes the necessity of applying contextual, problem-based, and practice-oriented tasks in biology lessons to develop functional literacy. Materials published in the repository of Kostanay Pedagogical Institute indicate that biology education contributes to the development of students' critical thinking, application of knowledge in authentic situations, and ability to solve relevant practical problems [15]. This strengthens the scientific and methodological foundation for implementing scenario-based game tasks in biology instruction.

Overall, the analysis demonstrates that international studies confirm the positive influence of game-based learning and scenario-based learning technologies on student engagement, motivation, academic achievement, and practical skills. Kazakhstani research likewise identifies the development of functional literacy, the integration of game elements into biology lessons, and the enhancement of scientific literacy as significant educational priorities. Nevertheless, the specific impact of scenario-based game tasks on functional literacy in biology education still requires deeper investigation. Therefore, this topic remains scientifically relevant, methodologically significant, and highly applicable to contemporary school practice.

The present study was aimed at determining the influence of scenario-based game tasks on the functional literacy of 10th-grade students in biology education. The research was conducted during the 2025-2026 academic year among 10th-grade students of a general secondary school.

A total of 48 students participated in the study, including 24 students assigned to the experimental group and 24 students to the control group. In the control group, the ecology unit was taught through traditional instructional methods, whereas in the experimental group the learning process was organized through scenario-based game tasks.

The ecology unit of the 10th-grade biology curriculum was selected as the primary research material. This section was chosen because it encompasses topics directly related to real-life situations, including environmental protection, anthropogenic factors, ecosystem changes, biodiversity, and ecological safety. Such content creates favorable conditions for applying biological knowledge in practical contexts and for developing students' functional literacy.

During the experimental instruction, a series of scenario-based game tasks were implemented. One of the central activities was the "Environmental Court" simulation. In this task, students were presented with an ecological situation involving the discharge of industrial waste into a river. Learners assumed the roles of prosecutor, environmental expert, company representative, local resident, and journalist. Each participant defended their position using biological and ecological evidence. Throughout the activity, students analyzed the causes of environmental pollution, examined its effects on living organisms and human health, and proposed possible solutions to the problem.

The second scenario-based activity was entitled "Saving the Ecosystem." In this task, students were presented with a situational problem concerning biodiversity loss within a specific region. Learners identified the causes of ecosystem change, analyzed disruptions within food chains, and developed recommendations aimed at preserving natural balance. During the task, students connected biological concepts with authentic ecological situations and were guided toward practical decision-making processes.

The third game-based activity was the "Environmental Debate." Within this task, students engaged in a debate on the topic "Should plastic products be completely restricted?" Students were divided into opposing groups and were required to support their arguments using scientific evidence, ecological examples, and biological explanations. This activity contributed to the development of critical thinking, evidence-based communication, and collaborative interaction skills.

The study employed one principal research method, namely the pedagogical experiment method. The experiment was organized in three stages: the diagnostic stage, the formative stage, and the control stage. During the diagnostic stage, the initial level of students' functional literacy was identified through diagnostic tasks. At the formative stage, scenario-based game tasks were systematically integrated into the instructional process of the experimental group. During the control stage, the outcomes of the experimental and control groups were compared, and the dynamics of change were analyzed.

Students' functional literacy was assessed according to the following criteria:

- the cognitive criterion, reflecting the level of understanding of ecological and biological concepts;
- the analytical criterion, reflecting the ability to identify cause-and-effect relationships within ecological problems and formulate scientific conclusions;
- the practical-applied criterion, reflecting the ability to apply biological knowledge in real-life situations and propose appropriate solutions;
- the communicative criterion, reflecting the level of participation in discussions, argumentation skills, and involvement in collaborative activities.

The results for each criterion were evaluated according to high, medium, and low performance levels. The assessment process considered the quality of task completion, students' interpretation of ecological problems, the validity of proposed solutions, and the specific ways in which biological knowledge was applied.

Percentage-based comparative analysis was used to process the research findings. The initial and final results of the control and experimental groups were compared in order to determine the pedagogical effectiveness of scenario-based game tasks in the development of students' functional literacy.

During the experimental study, the influence of scenario-based game tasks on students' functional literacy was clearly identified. A comparison of the control and experimental group results demonstrated significant changes in students' ability to understand ecological problems, apply biological knowledge in real-life situations, make evidence-based decisions, and participate in communicative activities. In particular, students in the group where scenario-based games were systematically implemented demonstrated a substantially higher level of engagement in analyzing ecological situations, identifying cause-and-effect relationships, and proposing practical solutions to environmental problems. The findings of the study indicate that game-based tasks not only increased students' interest in the subject but also contributed systematically to the development of their functional activity and practical biological competence.

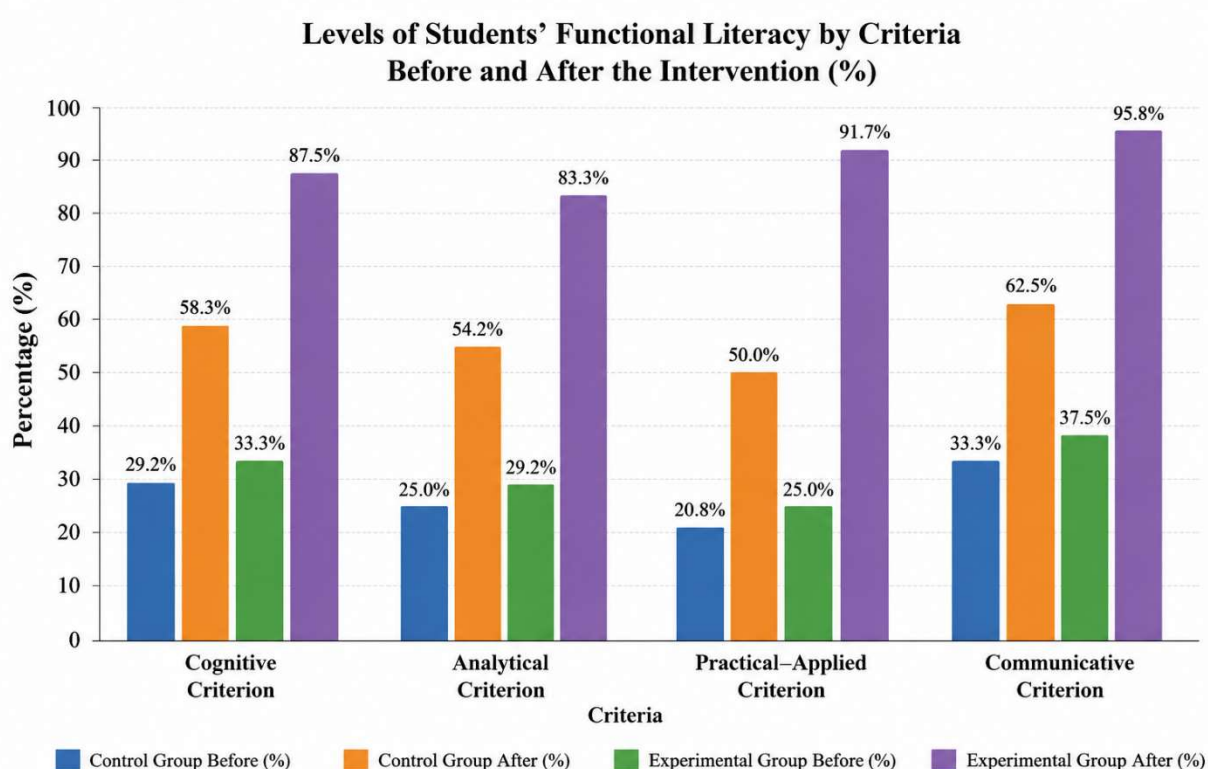


Figure 1. Results of the formation of functional literacy through scripted game tasks in biology (%)

The findings of the study demonstrated that the application of scenario-based game tasks in biology education possesses high pedagogical effectiveness in the development of students' functional literacy. The positive changes observed across all criteria in the experimental group indicate that students not only acquired biological knowledge at the theoretical level, but also significantly improved their ability to apply such knowledge in practical situations. In particular, the scenario-based game tasks implemented within the ecology unit contributed to students' understanding of natural phenomena in relation to real-life contexts, encouraged scientific approaches toward ecological issues, and enhanced their decision-making abilities. These results confirm that the formation of functional literacy is directly dependent on the connection between educational content and authentic life situations, as well as on students' active participation in the learning process.

The high results achieved in the cognitive criterion within the experimental group indicate that scenario-based game tasks positively influenced students' conscious understanding of biological concepts. Whereas traditional lessons often position students as passive recipients of ready-made information, game-based situations required learners to independently apply their knowledge in order to explain specific problems. For example, during the "Environmental Court" activity, students attempted to scientifically justify the causes of ecosystem changes, which contributed to a deeper understanding of theoretical concepts. This process enabled students to move beyond simple memorization toward the analysis and interpretation of information. Moreover, linking ecological terminology with authentic situations strengthened students' subject comprehension and allowed them to recognize the practical significance of biological knowledge.

The improvement observed in the analytical criterion demonstrates that scenario-based games contributed significantly to students' ability to identify cause-and-effect relationships. While analyzing ecological problems, learners became capable of examining issues from multiple perspectives, evaluating the impact of anthropogenic factors, and connecting biological principles with real-life situations. In particular, role-based tasks enabled students to approach a single issue from different social and ecological viewpoints. Such multidimensional analysis enhanced students' critical thinking abilities and influenced their capacity to formulate evidence-based conclusions. Furthermore, the discussion and debate processes integrated into the games activated students' abilities to compare data, organize arguments, and defend scientific perspectives.

The considerable increase observed in the practical-applied criterion within the experimental group highlights one of the principal advantages of scenario-based games in the formation of functional activity. Students were not limited to reproducing theoretical knowledge; instead, they became accustomed to applying it in the process of solving ecological problems. For example, during the "Saving the Ecosystem" activity, learners analyzed authentic ecological situations and proposed strategies for maintaining natural balance. This activity enhanced students' environmental responsibility and contributed to their understanding of the real-life importance of biological knowledge. In addition, students demonstrated increased creative and research-oriented engagement while proposing practical solutions. Such outcomes confirm the development of one of the key indicators of functional literacy the ability to transform knowledge into action.

The high dynamics identified in the communicative criterion indicate that scenario-based game tasks strengthened interaction among students. During role-playing activities, learners developed the ability to defend their opinions, listen to opposing viewpoints, and participate in collective decision-making processes. This tendency became particularly evident during ecological debates and court-format tasks. Students attempted to apply biological terminology correctly, provide scientific evidence, and explain their viewpoints logically. As a result, not only did their communicative competence improve, but their learning motivation and classroom participation also increased significantly. Such activities transformed students from passive listeners into active discussants and problem-solving participants within the educational process.

Although certain positive changes were also observed in the control group, the results remained lower in comparison with those of the experimental group. This suggests that traditional instructional methods possess a certain degree of effectiveness in delivering subject knowledge; however, they remain insufficient for the development of functional activity. In traditional lessons, students' learning activities are often restricted to the reception and reproduction of information, whereas scenario-based game tasks encourage active thinking, situational analysis, and decision-making. This distinction emphasizes the importance of activity-oriented and practice-based instruction in the formation of functional literacy.



The study also revealed another important characteristic of scenario-based games — their emotional and motivational influence on learners. Game-format tasks increased students' interest in the subject and strengthened their psychological engagement during lessons. In particular, the analysis of real-life ecological situations contributed to the formation of students' intrinsic motivation and encouraged more responsible attitudes toward nature and environmental protection. This demonstrates that biology functions not only as a source of academic knowledge but also as a means of developing ecological culture and social responsibility.

Overall, the obtained results confirm the high pedagogical potential of scenario-based game tasks for the development of functional literacy in biology education. Game-based activities enhanced students' cognitive engagement and facilitated the application of theoretical knowledge in authentic situations. Furthermore, such tasks contributed to the development of ecological thinking, scientific perspectives, communicative culture, and practical decision-making skills. Therefore, the systematic implementation of scenario-based game tasks within the ecology unit of biology education may be regarded as an effective methodological approach for fostering students' functional literacy.

One of the primary objectives of the contemporary education system is the development of students' functional literacy, which enables learners to apply acquired knowledge effectively in real-life situations. Within the framework of this study, the pedagogical potential of applying scenario-based game tasks in biology education for the development of functional literacy was examined. The research findings demonstrated that game-based tasks positively influence students' conscious acquisition of biological knowledge, their ability to analyze ecological problems, make practical decisions, and engage in communicative activities. In particular, scenario-based games implemented within the ecology unit, such as "Environmental Court," "Saving the Ecosystem," and "Environmental Debate," significantly increased students' cognitive engagement and strengthened their interest in the subject.

The higher results demonstrated by the experimental group in comparison with the control group confirm that scenario-based game tasks represent an effective methodological tool for the formation of functional activity. Through the analysis of authentic ecological situations, students learned to connect biological concepts with practical experience, identify cause-and-effect relationships, and formulate scientifically grounded conclusions. Furthermore, the game-based format contributed to the development of collaborative skills, evidence-based argumentation abilities, and environmental responsibility among learners. These findings indicate that the systematic implementation of scenario-based game tasks in biology education constitutes an effective approach to the development of students' functional literacy.

## References

- 1 Mikrouli P., Tzafilkou K., Protogeros N. Applications and learning outcomes of game based learning in education //International Educational Review. – 2024. – T. 2. – №. 1. – C. 25-54.
- 2 Safitri R. R. et al. The impact of game-based learning on student competencies in science: A systematic review //Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan. – 2025. – T. 10. – №. 1. – C. 116-136.
- 3 Ding A. C. E., Yu C. H. Serious game-based learning and learning by making games: Types of game-based pedagogies and student gaming hours impact students' science learning outcomes //Computers & Education. – 2024. – T. 218. – C. 105075.
- 4 Seddighi-Khavidak S. et al. Game-Based Learning Enhances Engagement and Comprehension in Undergraduate Architecture and Biology Education //Education Sciences. – 2025. – T. 16. – №. 1. – C. 9.
- 5 Zhang C., Fitzpatrick R., Barker D. Game-based learning to improve understanding of point mutations at secondary school level //Journal of Biological Education. – 2025. – C. 1-18.

6 Kalogiannakis M., Papadakis S., Zourmpakis A. I. Gamification in science education. A systematic review of the literature //Education sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 22.

7 Muhamad M., Badioze Zaman H., Ahmad A. Scenario-based learning approach for virtual biology laboratory (VLab-Bio) //International Visual Informatics Conference. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011. – С. 371-381.

8 May J. E. et al. Gamification in biomedical science education: the successful implementation of Resimion, a scenario-based learning tool //British Journal of Biomedical Science. – 2023. – Т. 80. – С. 11756.

9 Sarmurzin Y. et al. The impact of OECD research on the education system of Kazakhstan //Asia Pacific Education Review. – 2021. – Т. 22. – №. 4. – С. 757-766.

10 OECD Education GPS. Kazakhstan Student Performance (PISA 2022) // OECD Education GPS. – 2024. – URL: <https://gpseducation.oecd.org/CountryProfile?primaryCountry=KAZ&topic=PI&treshold=10>

11 Методические рекомендации по развитию функциональной грамотности обучающихся на уроке английского языка. – Астана: НАО имени Ы. Алтынсарина, 2024. – 240 с.

12 Korogod N. P., Zhumataeva S. E. IRSTI: 34.29. 01 development of functional literacy among students in preparation for intellectual competitions in biology //ISSN 1684-940X (Print) ISSN 2789-1534 (Online). – С. 45.

13 Muratbek N. Z., Armiyaeva N. K., Sh I. R. Evaluation of effectiveness of web didactic game on activation of cognitive activity of the students in biology lessons //Publisher. agency: Proceedings of the 5th International Scientific Conference «Modern scientific technology»(December 21-22, 2023). Stockholm, Sweden, 2023. 206p. – Malmö University, 2023. – С. 10.

14 Жұмағұл Ж. Т. Биология пәнінде геймификация элементтерін қолданудың әдістемелік мүмкіндіктері //«Qazaq Journal of Young Scientist» халықаралық ғылыми журналы. – 2026. – Т. 4. – №. 2. – С. 140-144.

15 Биология сабақтарында функционалдық сауаттылықты қалыптастыру әдістері // Қостанай педагогикалық институтының репозиторийі. – Қостанай, 2021. – 56 б.

# Білім берудегі цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің этикалық мәселелері

**Сманова Улданай Калдыбаевна**

педагогика ғылымдарының магистрі, ассистент, Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

**Аңдатпа.** Мақалада білім беру жүйесінде цифрлық технологиялар мен жасанды интеллектті қолдану барысында туындайтын негізгі этикалық мәселелер қарастырылады. Автор дербес деректерді қорғау, алгоритмдік әділдік, педагог рөлінің өзгеруі және академиялық адалдық мәселелеріне талдау жасайды. Сонымен қатар этикалық тәуекелдерді азайтудың педагогикалық жолдары ұсынылады.

**Кілт сөздер:** жасанды интеллект, цифрлық технологиялар, білім беру, этика, дербес деректер, педагогикалық жауапкершілік.

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные этические проблемы, возникающие при использовании цифровых технологий и искусственного интеллекта в системе образования. Автор анализирует вопросы защиты персональных данных, алгоритмической справедливости, изменения роли педагога и академической честности. Также предлагаются педагогические способы снижения этических рисков.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, цифровые технологии, образование, этика, персональные данные, педагогическая ответственность.

**Annotation.** The article discusses the main ethical issues that arise when using digital technologies and artificial intelligence in the education system. The author analyzes the issues of personal data protection, algorithmic fairness, changing the role of a teacher, and academic integrity. Pedagogical ways to reduce ethical risks are also suggested.

**Keywords:** artificial intelligence, digital technologies, education, ethics, personal data, pedagogical responsibility.

Соңғы онжылдықта білім беру жүйесінде цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің (ЖИ) қолданылуы қарқынды дамып келеді. Онлайн оқыту платформалары, автоматтандырылған бағалау жүйелері, интеллектуалды оқыту ортасы, білім алушылардың оқу жетістіктерін талдайтын алгоритмдер білім беру үдерісін жаңаша ұйымдастыруға мүмкіндік берді. Алайда технологиялық прогресс білім сапасын арттырумен қатар, бірқатар этикалық мәселелерді де алға шығарды.

Білім берудегі жасанды интеллект адамға тән ойлау, талдау, шешім қабылдау функцияларын ішінара автоматтандыра отырып, оқыту үдерісіне тікелей ықпал етеді. Осыған байланысты білім алушылардың дербес деректерін қорғау, әділ бағалау, тең қолжетімділік, жауапкершілік және педагогтың рөлінің өзгеруі сияқты мәселелер ерекше маңызға ие болып отыр. Сондықтан цифрлық технологиялар мен ЖИ-ды білім беру жүйесіне енгізу кезінде олардың этикалық қырларын ғылыми тұрғыда талдау өзекті болып табылады [1].

Бұл мақаланың мақсаты – білім берудегі цифрлық технологиялар мен жасанды интеллектті қолдану барысында туындайтын негізгі этикалық мәселелерді анықтау және оларды шешудің педагогикалық бағыттарын көрсету.

Цифрлық технологиялар қазіргі білім беру жүйесінің ажырамас бөлігіне айналды. Электронды оқулықтар, қашықтан оқыту жүйелері, білімді бақылаудың автоматтандырылған құралдары білім алушының оқу траекториясын даралауға мүмкіндік береді. Ал жасанды интеллект осы үдерісті одан әрі жетілдіріп, оқыту мазмұнын білім алушының жеке қабілеттері мен қажеттіліктеріне бейімдейді.

ЖИ негізіндегі жүйелер:

- білім алушының оқу үлгерімін талдайды;
- жеке оқу бағдарламасын ұсынады;
- автоматты кері байланыс береді;
- оқытушының уақытын үнемдейді.

Дегенмен, мұндай мүмкіндіктердің кеңеюі адам факторын екінші орынға ығыстырып, педагогикалық және этикалық тепе-теңдіктің бұзылуына әкелуі мүмкін.

Этика – адам әрекеттерінің моральдық нормаларға сәйкестігін зерттейтін ғылым саласы. Білім беру этикасы педагог пен білім алушы арасындағы қарым-қатынасты, әділдік, жауапкершілік, құрмет және теңдік қағидаттарын қамтиды [2].

Цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің білім беру үдерісіне енуі дәстүрлі этикалық нормаларды қайта қарауды талап етеді. Себебі алгоритмдер арқылы қабылданған шешімдер адам тағдырына, академиялық жетістігіне және психологиялық жағдайына тікелей әсер етуі мүмкін.

ЖИ жүйелері білім алушылардың жеке мәліметтерін (оқу үлгерімі, мінез-құлқы, психологиялық ерекшеліктері) жинап, өңдейді. Бұл деректердің дұрыс қорғалмауы ақпараттың заңсыз таралуына немесе теріс пайдаланылуына әкелуі мүмкін.

Сондықтан білім беру ұйымдары дербес деректерді қорғау қағидаттарын сақтап, ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етуі тиіс.

Жасанды интеллект алгоритмдері белгілі бір деректер негізінде жұмыс істейді. Егер бастапқы деректер біржақты немесе әділетсіз болса, алгоритм де әділетсіз шешім қабылдауы мүмкін.

Мысалы, автоматтандырылған бағалау жүйелері кейбір білім алушылардың әлеуметтік, тілдік немесе мәдени ерекшеліктерін ескермей, олардың мүмкіндіктерін шектеуі ықтимал. Бұл білім берудегі теңсіздікті күшейтеді.

ЖИ қолдану педагогтың қызметін жеңілдеткенімен, оның кәсіби жауапкершілігін төмендетпеуі керек. Оқыту үдерісін толықтай алгоритмге жүктеу педагогикалық қарым-қатынастың әлсіреуіне әкелуі мүмкін.

Педагог тек бақылаушы емес, бағыттаушы, тәлімгер және тұлға қалыптастырушы ретінде өз орнын сақтауы тиіс.

Цифрлық технологиялар білім алушыларға ақпаратты тез алуға мүмкіндік берсе де, академиялық адалдық мәселесін күрделендіреді. ЖИ арқылы дайын мәтіндер жасау, автоматты жауап алу оқыту мақсатына қайшы келуі мүмкін [3].

Бұл жағдайда білім алушылардың жауапкершілігін арттыру және академиялық мәдениетті қалыптастыру маңызды.

Жасанды интеллектке негізделген оқыту жүйелері білім алушының оқу мотивациясына, өзін-өзі бағалауына және эмоционалдық жағдайына әсер етеді.

Артық бақылау мен автоматты талдау білім алушыда қысым сезімін тудыруы мүмкін. Сондықтан ЖИ қолдану кезінде баланың психологиялық жай-күйін ескеру – маңызды этикалық талап.

Білім беруде цифрлық технологиялар мен жасанды интеллектті этикалық тұрғыда тиімді қолдану үшін:

- нормативтік-құқықтық базаны жетілдіру;
- педагогтардың цифрлық және этикалық құзыреттілігін арттыру;

- білім алушыларды цифрлық мәдениетке тәрбиелеу;
- адам мен технология арасындағы тепе-теңдікті сақтау қажет.

Қорытындылай келе, білім берудегі цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің дамуы оқу үдерісінің тиімділігін арттыруға зор мүмкіндік береді. Алайда оларды қолдану барысында туындайтын этикалық мәселелерді елемей білім беру сапасына және тұлғаның дамуына кері әсер етуі мүмкін [4].

Сондықтан жасанды интеллектті білім беру жүйесіне енгізу тек технологиялық емес, педагогикалық, психологиялық және этикалық тұрғыдан кешенді түрде қарастырылуы тиіс. Бұл өз кезегінде білім берудің гуманистік сипатын сақтауға және тұрақты дамуына ықпал етеді.

#### **Әдебиеттер тізімі:**

1. UNESCO. Ethical Guidelines for Artificial Intelligence in Education. – Paris, 2021.
2. OECD. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications. – Paris, 2020.
3. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial Intelligence in Education. – Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.
4. Selwyn N. Education and Technology: Key Issues and Debates. – London: Bloomsbury, 2016.

ӘӨЖ 378.147

# Conceptualization and terminologization of Problem based learning in education

**Байкеева Дина Кадыржанқызы**

2 курс магистранты, « 7М01703- Шет тілдері және мәдениетаралық коммуникация », Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан ғылыми жетекшісі:

**Хайржанова А.Х.**

қауымдастырылған профессор, ф.ғ.к., Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті Атырау, Қазақстан

The rapid development of technology and the globalization of society require high-quality experts in all fields. As these demands evolve, educational systems, teaching methods, and instructional technologies must also adapt to effectively prepare this “new” type of professional. One such approach is problem-based learning (PBL). Although often perceived as innovative, PBL is not a recent development; it originated in the late 1960s within medical education at McMaster Medical University. In the 1980s, the University of New Mexico introduced applied courses for several students, and then Harvard Medical School introduced this method into its teaching practice.

Over time, the PBL has expanded from medicine to many disciplines such as architecture, economics, pedagogy, music, law and political science. Today, it has become an integral part of modern teaching methodology worldwide and is applied across diverse academic fields.

The theoretical foundations of PBL are grounded in various learning theories, particularly humanistic and cognitive approaches that emphasize experiential learning. This method transforms the traditional structure of instruction and the process of knowledge transmission, offering significant benefits for both students and teachers. In particular, it enables learners to independently acquire knowledge, address emerging problems, and critically evaluate their solutions by comparing them with the ideas and approaches of their peers.

A paradigm shift in teaching techniques has occurred over the past century, moving from a teacher-centered approach to a student-centered approach like PBL, which stresses the critical involvement of the student in the learning process [1]. Researchers have discovered that student-centered instruction is more advantageous for pupils than conventional lecture-based learning. PBL, for instance, fosters the growth of problem-solving and inquiry abilities [2], improves active engagement and motivation in learning, makes learning more applicable to real-world situations and motivates students to take responsibility for their own learning.

Most importantly, the original purpose of training has changed. If in the early days of the traditional curriculum, the teacher distributes ready-made knowledge to the students, the students themselves use PBL for teaching in the curriculum, and the teacher only guides his work process and corrects it. In the course, students are asked to create a problematic situation, which can be created in various ways, and then gain knowledge about the topic. The task of the student is to solve a given problem situation and find knowledge to solve it. This creates a "cognitive conflict" between existing knowledge, which is not enough.

Problem-based learning has a wider scope than traditional learning, and its goals include the student's cognitive development and the improvement of his creative ability. In addition to mastering systematic knowledge, skills, and talents, this requires not only the results of scientific



knowledge, but also the path and the process of obtaining these results. Therefore, the focus on problematic learning techniques aims to stimulate thinking. Problematic learning tasks:

1) Update, consolidate and synthesize the acquired knowledge, and independently create new knowledge.

2) Cultivate the ability to express value judgments and demonstrate opinions, form self-esteem and the ability to introspect in learning activities;

3) The skills to form independent activities and the skills to cooperate collectively [3].

Students cannot and should not repeat the entire historical path of human cognitive development. But these are the principles of development and broad methods of activity (analysis, promotion of hypotheses, solving problems with hypotheses, checking the correctness of solving problems), and he must repeat their mastery and development. Methods of creative activities.

As a result, problem-based learning is a sort of developmental learning that incorporates independent systematic search activity.

The problem-oriented project method as a teaching method creates an opportunity for the student to in the process of cooperation with the teacher to develop a certain problem. For each group students are assigned a topic and a leader. The work is carried out during the semester, for instance.

The grounds for organizing work according to the problem-oriented project method are: formulation of the problem, aimed at a clear understanding of the object of study; purpose of the study; theoretical and experimental base of research; research methods; methodology research. Therefore, problem-based learning's goals include not only assimilation of scientific knowledge results or the knowledge system, but also the construction of the student's cognitive independence and the growth of his creative abilities. The idea of establishing a classification of problem situations, on the basis of which a hierarchy of problem situations was formed by I.A. Zimney, is at the heart of developing a model of content problematization teaching a foreign language. At three levels, the educational content problematization approach is used: 1) topic (linguistic), 2) communicative, and 3) spiritual and cognitive. The levels of the language correspond to the linguistic problems: phonetics, vocabulary, grammar, style, and text. The levels of speech activity: speaking, listening, writing, reading, and translation, all link with communication problems. When it comes to the spiritual and cognitive levels, the concept of spiritual values should be evaluated in the framework of the axiological approach. The process of solving a problem in a problem situation, according to I.A. Zimney, includes the following steps: 1) understanding the problem; 2) "acceptance" tasks by students; 3) the solution of the problem, which should cause emotional experience and desire to set and solve one's own task; 4) control of the correctness of the solution. Compliance with each of these stages is also an important condition success in solving a problem task [4].

Distinct terms for problem-based learning, such as approach, technique, type, and system, according to E.V. Kovalevskaya, "... represent several ideas or attributes of a single thing by examining its various sides "[5]. E.V. Kovalevskaya claims that the evolution of problem-based learning is a spiral that goes through the stages of approach, method, type, and system three times. One turn develops in roughly 18 years, and stages do so in roughly 6 years.

According to V. Okon, problem-based learning involves a number of actions, such as structuring problem situations, formulating problems, providing students with the necessary support for solving problems, systematizing and consolidating the information received, and evaluating responses [6].

Agapov describes problem-based learning at the University and explains it as "a whole type of learning that combines various forms, methods and techniques for the development of Cognitive Search and creative activity."

"Problem-based learning is the educational and cognitive activity of students in the acquisition of knowledge and methods of activity by identifying the teacher's explanations in a problem situation, presenting hypotheses, judgments and evidence proposed by creating problems and solving them (logical or intuitive).. and check the correctness of the decision," says Mi Makhmutov.

Under the direction of a teacher, all of the schoolchildren's mental activity ensures the development of a conscious, intellectually engaged personality [7].

The authors attributed this beneficial effect to PBL's emphasis on helping students improve their information-seeking and questioning abilities as well as their discussion and application of new knowledge in tutorials. Due to the requirement that PBL students engage cognitively in the learning process by searching out information and using higher level processing processes [8].

As was previously indicated, due to its beneficial effects on learning, the PBL approach gradually expanded to many other disciplines of education, including architecture, commerce, law, engineering, and more recently, language acquisition [9].

In the context of EFL, it hasn't been utilized very much. Despite their rarity, researches have shown that PBL has more benefits for knowledge application and long-term retention than the conventional technique.

Originally, PBL, defined as a curricular method, emerged from the field of medical sciences over three decades ago. However, in the field of language education, it is considerably young method of inquiry. PBL is considered to be an effective strategy, exciting alternative to traditional classroom learning. The main idea of this method can be described in the following way:

Students are engaged in complex issues and encouraged to take the roles of problem-solvers. It allows learners to take part in real-life decision making process by first identifying the "major" question before formulating appropriate solutions. Obviously, the issue has to have a "hook", that is, should be interesting to explore, to discuss, and, of course, it should be linked to content of your syllabus. These learning goals can be achieved by students:

- Test and test what they have learned.
- To know what to learn.
- Develop skills to achieve high scores in teams.
- Improve their communication skills.
- Demonstration and defense of positions with reasoned evidence and arguments.
- Be flexible in the processing of information and in the execution of obligations.
- Train the skills they need after education.
- To help students achieve these goals, the teacher must take into account some preliminary rules.

The teacher must ensure that students understand the goals and benefits of a problematic approach to language learning and emphasize the importance of using English to solve problems.

There are many ways of motivating students to participate in PBL. To begin with, the teacher can offer the students some simple steps to form creative-thinking. They are the following:

- Look at problems in many different ways. Find new perspectives that no one else has taken.
- Over-sell yourself. Send samples of your work or portfolio to anyone that might respond.
- Broaden your target audience. What other fields could you specialize in?
- Utilize diagrams and imagery to analyze your dilemma.
- Combine and recombine ideas, images, and thoughts into different combinations no matter how incongruent or unusual.
- Form relationships. Make connections between dissimilar subjects. This doesn't always apply to objects: form relationships with people and ask them questions.
- Get to know people in your field that can help you excel to the best of your ability.

- Think in opposites. Don't always stick with the obvious solutions. Get outside of your comfort zone. "Opposites" bring two approaches to a situation but they do share a basic similarity.
- Think metaphorically. Metaphors are connections that are unusual or not an ordinary way of thinking.

Learning from your mistakes is one example of using failure. As strange as it seems the human brain is failure machine: it generates models of reality, acts on them, and adjusts or creates new, successful models based on failures.

Don't confuse inspiration with ideas. Apply your ideas with patience for the reward they may deserve.

In addition to this, it should be noted that before any discussion which is based on PBL, the teacher introduces problem and vocabulary. The teacher may use pictures, video, or texts to introduce the problem to students. Students should also be prepared for vocabulary depending on the problem. The teacher can ask students about their previous personal experience of solving this problem and give them preliminary learning exercises on this topic.

Then the teacher groups the students together and provides them with resources. The teacher must make sure that the students understand the problem and expect that they will not have a single answer or solution, and that the students must be ready to explain why they chose this solution by choosing what seems to them to be the most viable solution.. The teacher must give students access to resources so that they know the range of resources available and know how to use them. The sources of information can be presented in different formats: teachers' conferences, textbooks, artistic stories/novels, interviews and biographies, comments from witnesses, magazine articles, original documents such as diaries, government documents, electronic media such as videos, radio programs and pageseb site

In this way, the teacher monitors the students and, if necessary, provides support, do not try to direct their efforts or monitor their activity in solving the problem. During the observation, the teacher takes notes and gives comments on the students' participation in the activity and the language used during the activity.

Finally, the teacher gives the students the opportunity to present and share the results of their work by proposing follo attività

The advantages of PBL in language learning are obvious. It is widely accepted that utilizing problem solving activity promotes construction of useful knowledge, develop reasoning strategies and effective self-directed learning strategies, increase motivation for learning, and become effective collaborators.

In our case, particular situation is linked to the topic "Nanotechnology: advantages and drawbacks". Firstly, it is necessary to state provoking-designed problem. Nowadays, there are a great number of blogs in the Internet on different topics, and we take into consideration some blogs, involving opinions on this subject which are quite different.

Studying these blogs helps the teacher to motivate students to discover this topic in a detail.

Blogs involve evaluation of the problem by people of different age, educational level and, obviously, they give the possibility of participation in discussing the problem on-line.

It's necessary to emphasize that the teacher needs some assistants in the group of students:

- The "Leader" who sets time limits for each part of discussions, invites questions, responds to each point of view.
- The "Secretary" who writes the problems and solutions suggested.
- The "Observer" who gives feedback to each participant at the end of the discussion.
- The "Expert" who makes decision what problems should be investigated in detail.

Then, the teacher follows the PBL procedures, according to the method suggested by Chalernsri Jogthong, Nakhon Ratchasima Rajabhat University:

*First phase (1 hour of class time discussion)*

*1. Term clarifying*

It is better to have the handouts with most interesting quotations (or text) related to the development of nanotechnology in different fields. In addition, if you use the text, you can ask the students mark it, using the element of critical thinking technology, such as "INSERT". The students study the text, give definition of nanotechnology and clarify the terms for precise understanding.

*2. Problem listing*

Students raise some questions about the topic.

The secretary writes the questions on the board (for example: Will nanotech be good or bad for peace and security?).

*3. Brainstorming*

Students brainstorm to find out the possibly solutions for each problem raised in step 2.

The secretary writes the responses on the blackboard.

*4. Hypothesis setting*

The students sets hypothesis based on the discussion in step 3.

The secretary writes the responses on the blackboard in terms of cause/effect diagram.

*5. Learning objective identification*

The students identify their learning objectives in order to test the hypothesis stated in Step 4.

The secretary writes the learning objectives on the blackboard.

*Second Phase (5 hours of self-study and 2 hours of class time discussion and presentation)*

*6. Analysis*

Students are divided into groups to search for the solutions in response to each hypothesis posted in step 4 by conducting self-study or meeting with a resource person.

*7. Synthesis*

Students make oral reports in English class, discuss their results, and the teacher gives feedback to all participants. Our goal is to show not only the results, but also their foundation. Students should be prepared to clearly elaborate on the problem and its consequences, summarize the process used, the options considered, and the difficulties encountered. Sharing the results with teachers and other students is an opportunity for students to showcase what they have learned. If they understand their subject well, it will be obvious.

PBL shifts the focus of learning activities from teachers to students; it can also help students become more independent learners and apply the skills they have acquired in the classroom to their lives. In addition, when students focus on the problems that need to be solved, they will strive to overcome language difficulties, regain a priori knowledge of the language to be used, and eventually become proficient language users. However, PBL procedure has to be well-designed, and the teachers need to be well-trained, e. g. to know when and how to break into the discussion appropriately and to be very patient and supportive in the way they interact.

PBL is a teaching strategy with constructivism at its core. By requesting that the students address real-world issues, this the learners participate in the educational technique via a variety of knowledge because of their imaginative notions at this moment, they have. By motivating putting existing knowledge and understanding into practice this teaching strategy helps students learn from a variety of sources in determining their fresh learning requirements and guides them to self-directed, group collaboration with other students learning and evaluating one's own and other people's progress.

The learning theories of cognitivism and constructivism, which form the foundation of Problem-Based Learning (PBL), strongly emphasize the enhancement of students' cognitive abilities and processes, as well as the provision of contextual learning opportunities. PBL is often regarded as a realization of constructivism, as it involves active student participation in learning through cognitive processing and interaction with the environment. During a PBL session, students

are organized into groups and presented with authentic problem scenarios to explore and provide solutions for. PBL recognizes that knowledge is developed through collaborative engagement, teamwork, negotiation, hypothesis formulation, and experimentation. As a result, PBL fosters the development of students' ownership over the problem and its solutions by encouraging their active involvement.

In our research, within the context of teaching a foreign language, we will examine a form of learning that aims to cultivate students' learning skills, including their ability to generate, identify, and resolve problem situations, as well as formulate problem tasks. The implementation of these problem tasks involves problem-solving. Therefore, the key concepts in problem-based learning are the "problem situation," the "problem," and the "problem task."

Thus, the problem task is a means of forming a foreign language learning skills. Since foreign language learning is a multicomponent phenomenon, and the performance of the same problematic task can simultaneously be aimed at several foreign language and speech skills and abilities formulating the purpose of the tasks, we will talk about the dominant, but not the only type of speech activity, the aspect language.

# The Secret of Healthy Living: An Academic Analysis of Scientific and Practical Approaches

**Mazanov İbrahim Mehrəli oğlu**

Senior lecturer of the Department of Physical Training at the Azerbaijan Sports Academy and a lecturer of the Department of Team Sports

**Mürsəlova Sevdə Paşa qızı**

Senior lecturer of the Department of Physical Training at the Azerbaijan Sports Academy and a lecturer of the Department of Team Sports

**Bakıxanova Aytəkin Fuad qızı**

Senior lecturer of the Department of Physical Training at the Azerbaijan Sports Academy and a lecturer of the Department of Team Sports

**Xülasə:** Müasir dövrdə insanların həyat tərzı sürətlə dəyişir və bu dəyişikliklər sağlamlıq göstəricilərinə birbaşa təsir edir. Sağlam yaşam anlayışı yalnız xəstəliklərin olmaması deyil, həm də fiziki, psixoloji və sosial rifahın təmin olunması kimi qəbul edilir. Bu məqalədə sağlam yaşamağın əsas prinsipləri elmi baxımdan araşdırılmış, müxtəlif tədqiqatların nəticələri müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Məqalədə sağlam qidalanma, fiziki aktivlik, psixoloji sabitlik, yuxu rejimi və sosial münasibətlərin insan sağlamlığına təsiri araşdırılmışdır. Eyni zamanda mövzu ilə bağlı akademik ədəbiyyat icmalı təqdim edilmiş, metodoloji yanaşmalar izah edilmiş və nəticələr ümumiləşdirilmişdir. Sağlam həyat mövzusunda bir çox tədqiqatlar aparan King Collage xəstəxanasının Elmi Tədqiqat İnstitutunun araşdırmalarına rəhbərlik edən professor Robert Wale bildirir ki, insanın sağlamlığı haqqında ilkin məlumat toplamaq üçün bədən bəzi nahiyyələrinə diqqət yetirmək xəstəlik haqqında bəzi təsəvvürlər yaradır.

**Açar sözlər:** sağlam, qaçış, həyat, sağlam həyat tərzı, idman psixologiyası, zərərli vərdişlər, fiziki, aktiv qida, vitamin.

**Аннотация:** Профессор Роберт Уэйл, руководитель исследований Научно-исследовательского института больницы King's College, который провёл многочисленные исследования в области здорового образа жизни, отмечает, что для получения первоначальной информации о состоянии здоровья человека необходимо обращать внимание на некоторые части тела. Наблюдение за этими участками может дать определённое представление о возможных заболеваниях.

**Ключевые слова:** здоровье, бег, жизнь, здоровый образ жизни, психология спорта, вредные привычки, физическая активность, активное питание, витамины.

**Abstract:** Professor Robert Wale, who leads research at the Scientific Research Institute of King's College Hospital and has conducted numerous studies on healthy living, states that in order to obtain preliminary information about an individual's health, attention should be paid to certain areas of the body. Observing these areas can provide initial insights into possible health conditions or diseases.

**Keywords:** health, running, life, healthy lifestyle, sports psychology, harmful habits, physical activity, active nutrition, vitamins.



**Giriş.** Sağlam yaşam insan həyatının ən vacib prioritetlərindən biridir. Tarixi inkişaf prosesində insanlar uzunömürlülüüyün və sağlamlığın sirrini anlamağa çalışmış, müxtəlif tibbi və sosial yanaşmalar formalaşdırmışdır. Texnologiyanın inkişafı, urbanizasiya və həyat tempinin sürətlənməsi bir tərəfdən insan həyatını asanlaşdırsa da, digər tərəfdən stress, hərəkətsizlik və qeyri-sağlam qidalanma kimi problemlərin artmasına səbəb olmuşdur. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının yanaşmasına görə sağlamlıq yalnız xəstəliyin olmaması deyil, həm də insanın tam fiziki, psixoloji və sosial rifah vəziyyətidir. Bu baxımdan sağlam həyat tərzii multidissiplinar yanaşma tələb edir və yalnız tibbi amillərlə məhdudlaşmır. İnsanların gündəlik vərdisləri, qidalanma sistemi, emosional vəziyyəti, sosial münasibətləri və hətta ətraf mühit şəraiti onların sağlamlığına ciddi təsir göstərir. Son illərdə aparılan elmi araşdırmalar göstərir ki, sağlam həyat tərzii ürək-damar xəstəlikləri, şəkərli diabet, piylənmə və bir sıra xroniki xəstəliklərin yaranma riskini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bununla yanaşı, düzgün həyat tərzii insanın zehni fəaliyyətini, əmək məhsuldarlığını və ümumi həyat keyfiyyətini yüksəldir. Bu məqalənin məqsədi sağlam yaşamağın əsas prinsiplərini elmi əsaslarla təhlil etmək, müasir tədqiqatların nəticələrini ümumiləşdirmək və sağlam həyat tərzinin insan həyatına təsirini akademik formatda təqdim etməkdir.

**Problemin tədqiqatı.** Müasir cəmiyyətdə qeyri-sağlam həyat tərzii qlobal problemə çevrilmişdir. Fast-food qidalanması, oturaq həyat tərzii, uzunmüddətli stress və yuxu pozuntuları insan sağlamlığı üçün ciddi təhlükə yaradır. Dünya üzrə ölüm hallarının böyük hissəsi məhz qeyri-infeksion xəstəliklərlə bağlıdır və bu xəstəliklərin əsas səbəblərindən biri düzgün olmayan həyat tərzidir. Problemin aktuallığı ondan ibarətdir ki, insanların əksəriyyəti sağlam həyatın əhəmiyyətini nəzəri olaraq başa düşsə də, praktikada bunu davamlı şəkildə tətbiq etməkdə çətinlik çəkir. Bu səbəbdən sağlam yaşamağın elmi əsaslarının öyrənilməsi və cəmiyyətə düzgün şəkildə çatdırılması xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

#### **Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri**

**Tədqiqatın məqsədi.** Tədqiqatın əsas məqsədi sağlam yaşamağın əsas komponentlərini müəyyənləşdirmək və onların insan sağlamlığına təsirini elmi baxımdan araşdırmaqdır.

**Tədqiqatın vəzifələri.** Tədqiqatın vəzifələri aşağıdakılardır:

- ✓ Sağlam həyat tərzii anlayışını nəzəri baxımdan təhlil etmək;
- ✓ Sağlam qidalanmanın insan orqanizminə təsirini araşdırmaq;
- ✓ Fiziki aktivliyin sağlamlıq üçün rolunu müəyyənləşdirmək;
- ✓ Psixoloji sağlamlıq və stress idarəetməsinin əhəmiyyətini qiymətləndirmək;
- ✓ Yuxu rejimi və sosial münasibətlərin sağlamlığa təsirini öyrənmək;
- ✓ Mövzu ilə bağlı elmi tədqiqatların nəticələrini ümumiləşdirmək.

**Ədəbiyyat icmalı.** Sağlam həyat tərzii ilə bağlı tədqiqatlar müxtəlif elm sahələrində geniş şəkildə araşdırılmışdır. Tibbi araşdırmalar göstərir ki, düzgün qidalanma və fiziki aktivlik insan ömrünü uzadan əsas amillərdəndir. Amerikalı alimlər tərəfindən aparılmış araşdırmalarda qeyd olunur ki, gündəlik fiziki aktivlik ürək-damar sistemi xəstəliklərinin riskini azaldır və maddələr mübadiləsini yaxşılaşdırır. Digər tədqiqatlarda isə balanslı qidalanmanın immun sistemini gücləndirdiyi və orqanizmin xəstəliklərə qarşı müqavimətini artırdığı vurğulanır. Psixoloji sağlamlıq sahəsində aparılmış araşdırmalar göstərir ki, uzunmüddətli stress insan orqanizmində hormonal balansı pozur və müxtəlif xəstəliklərin yaranmasına səbəb olur. Xüsusilə kortizol hormonunun uzun müddət yüksək səviyyədə qalması ürək-damar problemləri, yüksək təzyiq və psixoloji pozuntularla əlaqələndirilir.

Yuxu ilə bağlı aparılan elmi araşdırmalarda müəyyən edilmişdir ki, gündə 7–8 saat keyfiyyətli yuxu insan beyninin fəaliyyəti, yaddaşın möhkəmlənməsi və immun sisteminin güclənməsi üçün vacibdir. Yuxu çatışmazlığı isə diqqət pozğunluğu, depressiya və metabolik problemlərə səbəb ola

bilər. Sosial münasibətlər sahəsində aparılan tədqiqatlar da maraqlı nəticələr ortaya qoymuşdur. İnsanların ailə və dost münasibətlərinin güclü olması onların emosional sağlamlığını yaxşılaşdırır və stress səviyyəsini azaldır. Sosial dəstək alan insanların daha uzunömürlü olduğu bir sıra tədqiqatlarda qeyd edilmişdir. Ədəbiyyat icmalının nəticəsi olaraq demək olar ki, sağlam yaşam yalnız bir faktorla deyil, müxtəlif fiziki, psixoloji və sosial amillərin qarşılıqlı əlaqəsi ilə formalaşır.

### **Tədqiqat metodologiyası**

Bu məqalədə keyfiyyət yönümlü tədqiqat metodundan istifadə edilmişdir. Mövzu ilə bağlı müxtəlif akademik mənbələr, tibbi araşdırmalar, statistik məlumatlar və elmi məqalələr müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. İstifadə olunan metodlar aşağıdakılardır:

- ✓ Analiz metodu-sağlam həyat tərzinin əsas komponentləri ayrı-ayrılıqda araşdırılmış və onların insan sağlamlığına təsiri təhlil edilmişdir.
- ✓ Müqayisəli təhlil metodu-müxtəlif ölkələrdə aparılmış elmi tədqiqatların nəticələri müqayisə edilmiş və orta məqamlar müəyyənləşdirilmişdir.
- ✓ Statistik yanaşma-mövcud statistik məlumatlar əsasında sağlam həyat tərzinin insan ömrünə və xəstəliklərin azalmasına təsiri qiymətləndirilmişdir.
- ✓ Sistemli yanaşma-sağlam yaşam vahid sistem kimi nəzərdən keçirilmiş və qidalanma, fiziki aktivlik, psixoloji sağlamlıq və sosial münasibətlər arasında qarşılıqlı əlaqələr araşdırılmışdır.

### **Sağlam yaşamağın əsas prinsipləri**

**Sağlam qidalanma.** Sağlam qidalanma insan orqanizminin düzgün fəaliyyəti üçün vacib olan əsas amillərdən biridir. Orqanizmin vitamin, mineral, zülal, yağ və karbohidrat balansına ehtiyacı vardır. Qidalanmanın düzgün təşkil olunmaması piylənmə, diabet və ürək xəstəlikləri kimi problemlərin yaranmasına səbəb ola bilər. Mütəxəssislər meyvə, tərəvəz, tam taxıl məhsulları və proteinlə zəngin qidaların gündəlik rasionda üstünlük təşkil etməsini tövsiyə edirlər. Şəkərli və yüksək kalorili qidaların həddindən artıq istifadəsi isə insan sağlamlığı üçün risk yaradır. Su balansının qorunması da sağlam qidalanmanın mühüm hissəsidir. Yetərli miqdarda su qəbul edilmədikdə orqanizmdə metabolik proseslər zəifləyir və yorğunluq hissi artır. Sağlamlığın qorunması bilavasitə hər bir insanın borcudur və bizim bu borcu başqa insnlara həvalə etməyə ixtiyarımız yoxdur. Lakin düzgün həyat təzi sürməyən, zərərli vərdisləri olan, həddindən artıq yeməkdən əziyyət çəkən 20-30 yaşına çatan insanların sağlamlığı ağır vəziyyətə düşəndə, həmin gənc sağlamlığı haqqında fikirləşməyə başlayır. Bununla belə hər bir insan öz orqanizminə uyğun fiziki yük qəbul etməlidir. Fiziki hərəkətləri yerinə yetirən zaman hərəkətin düzgün icra olunmasına fikir vermək lazımdır. Uzun illər mütəxəssislər səhər tezdən yataqdan duran kmi qaçış hərəkətlərinə üstünlük verirdilər. İngilis mütəxəssisi Nahett Matray bildirir ki, səhər yataqdan qalxan kimi verilən qaçış hərəkətləri bir çox insanlarda narahatlıq yaradır. İnsan yatan zaman beyin istirahət edir oynaqlar rahatlaşır, boşalır belə bir vəziyyətdə verilən qaçış hərəkətləri oynaqlarda ağrılara, onurğa sütununda zədələnmələrə ürək bulanmasına səbəb ola bilər.

Qaçış üçün bədəni hazırlamaq lazımdır, qan dövranını sürətləndirmək, bədənin süstlüyünü aradan qaldırmaq, yüngül isitmə hərəkətlərindən sonra qaçış hərəkətlərinə başlamaq məsləhətdir. Qaçaraq bir çox xəstəliklərdən sığortalana bilərsiniz.

**Fiziki aktivlik.** Fiziki aktivlik sağlam həyat tərzinin əsas komponentlərindən biridir. Daimi idman fəaliyyəti əzələləri gücləndirir, qan dövranını yaxşılaşdırır və ürəyin fəaliyyətini dəstəkləyir. Araşdırmalar göstərir ki, gündəlik ən azı 30 dəqiqə fiziki aktivlik insan sağlamlığı üçün olduqca faydalıdır. Gəzinti, qaçış, üzgüçülük və velosiped sürmə kimi fəaliyyətlər bədənin ümumi funksiyalarını yaxşılaşdırır. Fiziki aktivlik yalnız bədən sağlamlığı üçün deyil, həm də psixoloji vəziyyət üçün vacibdir. İdman zamanı ifraz olunan endorfin hormonu insanın əhvalını yaxşılaşdırır və stress səviyyəsini azaldır.

**Psixoloji sağlamlıq.** Psixoloji sağlamlıq insanın ümumi rifahının vacib hissəsidir. Müasir həyatın sürətli tempi insanlarda stress, narahatlıq və emosional gərginlik yaradır. Meditasiya, nəfəs məşqləri və düzgün zaman idarəetməsi stressin azaldılmasında mühüm rol oynayır. Eyni zamanda ailə və dostlarla sağlam münasibətlərin qurulması insanın emosional sabitliyinə müsbət təsir göstərir. Psixoloji sağlamlıq pozulduqda insanın fiziki sağlamlığı da zəifləyir. Buna görə də psixoloji rifah sağlam həyat tərzinin ayrılmaz hissəsi hesab olunur.

**Yuxu rejimi.** Yuxu insan orqanizminin bərpası üçün vacib fizioloji prosesdir. Keyfiyyətli yuxu beynin fəaliyyəti, yaddaş və diqqət üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Mütəxəssislər böyükler üçün gündə orta hesabla 7–8 saat yuxunu tövsiyə edirlər. Yuxu rejiminin pozulması insanın enerji səviyyəsini azaldır və immun sistemini zəiflədir. Elektron cihazlardan uzun müddət istifadə yuxu keyfiyyətinə mənfi təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən yatmadan əvvəl ekran vaxtının azaldılması tövsiyə olunur.

**Sosial münasibətlər və həyat keyfiyyəti.** İnsan sosial varlıqdır və onun psixoloji vəziyyəti sosial münasibətlərlə sıx bağlıdır. Sağlam ailə münasibətləri və dost dəstəyi insanın emosional sabitliyini artırır. Araşdırmalar göstərir ki, sosial təcrid depressiya və stress riskini artırır. Əksinə, sosial aktiv insanlar daha yüksək həyat məmnuniyyətinə malik olurlar.

**Tədqiqat nəticələri və müzakirə.** Aparılmış təhlillər göstərir ki, sağlam həyat tərzini insan ömrünün uzanmasına və həyat keyfiyyətinin yüksəlməsinə mühüm təsir göstərir. Sağlam qidalanma, fiziki aktivlik və psixoloji sabitlik bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan amillərdir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki:

- ✓ Düzgün qidalanma maddələr mübadiləsini yaxşılaşdırır;
- ✓ Daimi fiziki aktivlik ürək-damar xəstəliklərinin riskini azaldır;
- ✓ Keyfiyyətli yuxu zehni fəaliyyəti gücləndirir;
- ✓ Stressin idarə olunması psixoloji sağlamlığı qoruyur;
- ✓ Sosial münasibətlər insanın emosional rifahına müsbət təsir edir.

Müzakirə zamanı müəyyən edilmişdir ki, sağlam həyat tərzinin formalaşdırılması yalnız fərdi məsələ deyil, həm də cəmiyyətin və dövlət siyasətinin vacib istiqamətlərindən biridir. Maarifləndirmə proqramları, idmanın təşviqi və sağlam qidalanma ilə bağlı ictimai tədbirlər insanların həyat keyfiyyətinin yüksəlməsinə kömək edə bilər.

### Nəticə

Sağlam yaşamağın sirri balanslı və nizamlı həyat tərzindədir. İnsan sağlamlığı yalnız tibbi müdaxilələrlə deyil, gündəlik davranış və vərdislərlə qorunur. Düzgün qidalanma, fiziki aktivlik, keyfiyyətli yuxu, psixoloji sabitlik və sosial münasibətlər sağlam həyatın əsas sütunlarıdır. İnsan öz sağlamlığının yaradıcısıdır və bu sağlamlıq uğrunda mübarizə aparmaq lazımdır. Buna görə də erkən yaşlardan fərdi həyat tərzini sürmək, bədən tərbiyəsi və idmanla məşğul olmaq, bədəni möhkəmləndirmək, şəxsi gigiyena normalarına riayət etmək, müxtəlif emosiyaları cilovlamağı bacarmaq, alkoqol narkotiklərdən istifadə etməmək, siqaret çəkməmək, düzgün qidalanmaq, yəni düşünülmüş şəkildə sağlamlığın əsl harmoniyasına nail olmaq vacibdir.

Məqalədə aparılan elmi təhlillər göstərir ki, sağlam həyat tərzini bir çox xəstəliklərin qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır. Sağlam yaşam prinsiplərinin gündəlik həyata tətbiqi həm fərdi, həm də ictimai səviyyədə müsbət nəticələr verir. Nəticə etibarilə, sağlam yaşamaq insanın öz həyatına məsuliyyətli yanaşması ilə bağlıdır. Müasir dövrdə sağlam həyat tərzini

## ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. World Health Organization — sağlam həyat tərzı və ictimai sağlamlıq hesabatları
2. Harvard Medical School — qidalanma və fiziki aktivlik üzrə tibbi araşdırmalar
3. National Sleep Foundation — yuxu və insan sağlamlığı üzrə tədqiqatlar
4. American Heart Association — ürək-damar sağlamlığı və fiziki aktivlik araşdırmaları
5. Abraham Maslow — motivasiya və insan rifahı nəzəriyyəsi
6. Martin Seligman — pozitiv psixologiya və wellbeing yanaşmaları
7. Bayramov. Q «İnsan və zaman» Bakı 1992.
8. Əsgərov. Ə, Mahmudov. H «İnsan və təbiət» İşıq 1992
9. Заривин Г.П «Окружающая среда и здоровые» Знание 1997
10. Əhmədov.Ə «Gözəlliyin keşiyində» Bakı 1991
11. Məmmədov N.M «Ekologiya» Bakı 2002
12. Məmmədov M.M. Şuravkina İ.M. «Ekologiya» Bakı. 2000.
13. Зувин Г.П. «Окружающая среда и здоровые» Москва Знание 1997

# ЖЕКЕ ОҚЫТУ ДӘУІРІ: ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӘР ОҚУШЫҒА АРНАЛҒАН МҰҒАЛІМ БОЛА АЛА МА?

**Яхьяев Нурсултан Мухитович**

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, 7M01509 –  
Информатика мамандығының магистранты

**Бримжанова С. С.**

философия PhD докторы, физика, математика және цифрлық технологиялар  
кафедрасының ассистент-профессоры, Ө. Сұлтанғазин атындағы педагогикалық  
институты

**Аннотация.** Мақалада жасанды интеллект (ЖИ) технологияларының білім беру саласындағы ең үлкен трансформациялық әлеуеті — әр оқушыға арналған дербес оқыту мүмкіндігі қарастырылады. Соңғы жылдары жүргізілген халықаралық мета-талдаулардың (Wang et al., 2024; 2025) нәтижелері ЖИ-ге негізделген адаптивті оқыту жүйелерінің оқу нәтижелерін айтарлықтай жақсартатынын дәлелдеп отыр. Қазақстан да 2026 жылы Президент Жарлығымен орта білім беру жүйесіне ЖИ-ні жаппай енгізу жолына түсті. Зерттеуде «ЖИ мұғалімнің орнын баса ала ма?» деген сұраққа жауап ізделеді және автор ЖИ-нің рөлін мұғалімді алмастырушы емес, оның мүмкіндігін күшейтетін «дидактикалық серіктес» ретінде қарастыруды ұсынады.

**Кілт сөздер:** жасанды интеллект, дербес оқыту, адаптивті оқыту жүйесі, білім беру, педагогика, мета-талдау.

## Кіріспе

Білім беру жүйесінің ғасырлар бойы шешілмей келе жатқан негізгі парадоксы — оның жаппай сипатта болуы. Бір сыныптағы 25–30 оқушының әрқайсысы өзіндік қабілеті, оқу қарқыны, танымдық стилі мен мотивациясы бар бірегей тұлға болғанымен, мұғалім объективті себептермен бәріне бірдей материалды, бірдей жылдамдықпен, бірдей тәсілмен ұсынуға мәжбүр. Бұл жағдайда күшті оқушылар зеріксе, әлсіздер артта қалады, ал «орташа» оқушыға бағытталған сабақ ешкімнің жеке қажеттіліктерін толық қанағаттандырмайды.

XX ғасырдың 80-жылдарында америкалық психолог Бенджамин Блум «2 сигма» феноменін сипаттады: жеке репетитормен оқыған бала қарапайым сыныптағы оқушыға қарағанда орта есеппен екі стандартты ауытқуға (шамамен 98-ші перцентильге) озып кетеді. Бірақ әр баланы жеке мұғалімге қосу — экономикалық жағынан мүмкін емес шешім болып қала берді. Дәл осы шектеуді жасанды интеллект жоюға қабілетті болуы мүмкін. 2026 жылғы 12 мамырда Қазақстан Президенті Қ. Тоқаев орта білім беру жүйесіне жасанды интеллекті енгізу туралы Жарлыққа қол қойды, оның негізгі бағыттарының бірі — «дербес оқыту тетігін» қалыптастыру. Бұл құжат осы мақала тақырыбын тек теориялық емес, нақты мемлекеттік саясат деңгейіндегі өзекті мәселеге айналдырды.

Зерттеудің мақсаты — жасанды интеллекттің әр оқушыға дербес оқу траекториясын ұсыну қабілетінің ғылыми негіздерін талдау, әлемдік және отандық тәжірибені салыстыру, сондай-ақ «ЖИ мұғалімді алмастыра ала ма?» деген сұраққа дәйекті жауап беру.

## Негізгі бөлім

### 1. Адаптивті оқытудың ғылыми негіздері

Жасанды интеллектке негізделген адаптивті оқыту жүйелері (Adaptive Learning Systems, ALS) оқушының жауаптарын, әрекеттерін, тіпті тапсырмаға кететін уақытын талдай отырып, оқу мазмұнын, қарқынын және күрделілік деңгейін нақты сол баланың деңгейіне бейімдейді. 2024 жылы Sage Publications жариялаған ауқымды мета-талдау (45 тәуелсіз зерттеу негізінде) ЖИ-ге негізделген адаптивті жүйелердің оқу нәтижелеріне әсер ету мөлшері  $g = 0,70$  екенін көрсетті — бұл педагогикалық ғылымда «орта-күштіден жоғары» эффект болып саналады. Зерттеушілер оқу нәтижелеріне әсер ететін модераторлардың ішінде когнитивті, аффективті және мінез-құлықтық бейімделу көздерінің барлығының да маңызды екенін атап өтті.

2025 жылы Wiley Online Library журналында жарияланған тағы бір мета-талдау (бастауыш және орта мектеп оқушылары арасында 69 зерттеу, жалпы 9095 оқушы) ұқсас нәтижеге келді: технологияға негізделген адаптивті оқыту оқушылардың когнитивті, аффективті және мінез-құлықтық нәтижелеріне орта-оң ықпал етеді. 2026 жылдың сәуірінде Frontiers in Education журналында жарияланған жүйелі шолуда — ол PRISMA 2020 хаттамасы бойынша 81 эмпирикалық зерттеуді талдады — геймификацияланған ЖИ-ге негізделген орталардың тиімділігі стандартталған орташа айырмашылықпен (SMD) 1,01 деп есептелген; орта мектеп деңгейінде эффект одан да жоғары — 1,12. Айта кету керек, бұл зерттеуді қазақстандық авторлар ұжымы (Г. Ниязова, Б. Дюйсекеева және басқалары) жариялады, бұл отандық академиялық қауымдастықтың осы саладағы зерттеулерге белсене кіріскенін көрсетеді.

2025 жылдың қарашасында Дартмут университетінің зерттеушілері (Thesen et al.) ЖИ-ге негізделген оқыту жүйелерінің масштабталу қабілетін эмпирикалық дәлелдеген жұмысын жариялады. Олар RAG (Retrieval-Augmented Generation) технологиясын пайдалана отырып құрылған NeuroBot TA жүйесі көп санды студенттерге дербес нұсқаулық бере алатынын анықтады. Қызықты тұжырым: оқушылар жалпы білім базаларынан гөрі сараланған сараптамалық дереккөздерден жауап беретін ЖИ-ге көбірек сенетіні байқалған. Бұл жаңалықтың Қазақстан үшін стратегиялық маңызы зор: ауыл мектептеріндегі мамандар тапшылығы жағдайында осындай жүйелер «цифрлық сараптамалық қолдау» қызметін атқара алады.

### 2. Жасанды интеллект ұсынатын жеке оқытудың тетіктері

Жасанды интеллект білім беруде дербестендіруді бірнеше деңгейде жүзеге асырады. Бірінші — оқу қарқынын бейімдеу: жүйе оқушының қателесу жиілігін, жауап беру жылдамдығын және тапсырмаға қайта оралу үлгісін талдай отырып, келесі тапсырманың күрделілік деңгейін автоматты түрде өзгертеді. Екінші — мазмұндық бейімделу: бір ғана ұғымды (мысалы, фотосинтезді) бір оқушыға визуалды анимация арқылы, екіншісіне тарихи мысал арқылы, үшіншісіне математикалық формула арқылы түсіндіруге болады. Үшінші — диагностикалық бейімделу: жүйе оқушының қай нақты қадамда қателескенін бөлшектеп көрсетеді, бұл «ауырған жерді емдеу» принципін жүзеге асырады.

Cengage Group компаниясының 2025 жылғы есебіне сәйкес, жоғары білім беру студенттерінің 65%-ы өзін оқытушыдан гөрі ЖИ-ні жақсы біледі деп санайды, ал 45%-ы оқытушылардың сабақта ЖИ-ні қолданғанын және оған үйреткенін қалайды. Бұл деректер педагогикалық парадигманың түбегейлі ауысып жатқанын көрсетеді: оқушы — енді ақпаратты қабылдаушы ғана емес, технологиямен бірге жұмыс істейтін тең серіктес. Tyton Partners ұйымының «Time for Class 2024» есебі бойынша әлем студенттерінің 86%-ы оқу үшін генеративті ЖИ-ні қолданады, ал жартысынан көбі тыйым салынса да оны қолдануды жалғастырамыз дейді. Демек, сұрақ «қолдану-қолданбау» жазығынан «дұрыс және этикалық қолдану» жазығына көшті.



### 3. Қазақстандық контекст: жаңа мемлекеттік саясаттың алғышарттары

Қазақстан Республикасы Президентінің 2026 жылғы 12 мамырдағы Жарлығы орта білім беру жүйесіне ЖИ-ні енгізудің 2026–2029 жылдарға арналған кешенді жоспарын әзірлеуді міндеттейді. Құжатта бірнеше шешуші бағыт айқындалған: дербес оқыту тетігін қалыптастыру; цифрлық инфрақұрылымды дамыту; педагог кадрларды даярлау; оқушылардың дербес деректерін қорғау. Ерекше назар аударатыны — қала және ауыл мектептері арасындағы білім сапасы алшақтығын азайту мақсатында пилоттық жобаны іске қосу. Бұл міндетті орындау үшін Жасанды интеллектіні дамыту жөніндегі Кеңестің мүшесі, әлемге танымал ЖИ сарапшысы Ли Кай-Фудің ұсынымдары пайдаланылмақ.

Қазақстан үшін дербестендірілген оқытудың әлеуеті бірнеше себептен ерекше маңызды. Біріншіден, ел аумағы үлкен, ал білім сапасы өңірлер арасында айтарлықтай ерекшеленеді. ЖИ-ге негізделген платформалар ауылдағы балаға сапасы Алматыдағы үздік мектептермен тең материалдар мен сараптамалық қолдау ұсына алады. Екіншіден, мектептерде пән мұғалімдерінің тапшылығы бар (тек инклюзивті білім беру саласында ғана 470 маман жетіспейді); ЖИ-көмекшілер бұл олқылықты толық жоймаса да, едәуір азайта алады. Үшіншіден, қазақ тіліндегі сапалы оқу мазмұнын генерациялау мүмкіндігі мемлекеттік тілдегі білім беруді сапалы дамытуға жол ашады.

Отандық сарапшылар да дәл осы дербестендіру әлеуетіне баса назар аударады. Sandu Education орталығының негізін қалаушы, ЖИ сарапшысы Сандуғаш Сейітқалиеваның пайымдауынша, «ЖИ әр оқушыға дербес оқыту траекториясын ұсына алады, бұл қабілет пен деңгейіне сай тапсырмаларды игеруді жеңілдетеді». Caravan.kz басылымы Президент Жарлығын талдай отырып, Қазақстан тәсілінің ерекшелігі — жасанды интеллектіні бағдарламалық қамтамасыз етумен ғана емес, адами капиталмен байланыстыруында деп атап өтеді: басты мақсат — оқушыны технология тұтынушысынан оны жасаушыға айналдыру.

### 4. Шектеулер, тәуекелдер және этикалық сұрақтар

Жасанды интеллекттің оңтайлы әлеуетіне қарамастан, оны білім беруге енгізудің елеулі тәуекелдері бар. Стэнфорд университетінің 2025 жылғы зерттеуінде атап өтілгендей, ЖИ құралдарының оқу нәтижелеріне нақты әсері туралы әлі де айтарлықтай білім олқылығы бар. Эффект өлшемдері оң, бірақ ұзақ мерзімді әсер, мотивацияға, сыни ойлауға, шығармашылыққа ықпал — бұл сұрақтар әлі де ашық. EDUCAUSE Review журналындағы аналитикалық жұмыс премиум ЖИ қызметтерінің әр түрлі әлеуметтік топтарға қолжетімділігінің біркелкі еместігі жаңа цифрлық алшақтықты тереңдетуі мүмкін екенін ескертеді. Frontiers in Education журналындағы 2025 жылғы шолу генеративті ЖИ-нің білім беру саласындағы этикалық және құқықтық қиындықтарын — деректер құпиялылығы, академиялық адалдық, алгоритмдік біржақтылық — жүйелі түрде талдады.

Тағы бір ұмытылмауға тиіс мәселе — ЖИ оқушының жан-дүниесін, эмоционалды ахуалын, отбасылық ахуалын түсіне алмайды. Ол оқушыны шабыттандыра алмайды, оның көзіндегі сұрақты, дауысындағы күмәнді сезе алмайды. Алгоритм қаншалықты дамыған болса да, мұғалім мен оқушы арасындағы адами байланыс — тәлімгерлік, рухани қолдау, мәдени құндылықтарды беру — техникалық құралмен ауыстырылмайтын құбылыс. Дәл осы себептен Президент Жарлығында «ЖИ — мұғалімнің қызметін алмастырмайтын қосымша тиімді құрал ретінде» деп нақты белгіленді.

### 5. Қорытынды: «Мұғалім + ЖИ» теңдеуі

Мақаланың басындағы сұраққа — «жасанды интеллект әр оқушыға арналған мұғалім бола ала ма?» — ғылыми деректер мен қазіргі тәжірибе бір мәнді жауап беруге мүмкіндік береді: иә, ЖИ дербес оқытудың кейбір функцияларын — диагностика, материалды бейімдеу, тапсырмаларды генерациялау, үздіксіз кері байланыс — мұғалімнен әлдеқайда тиімді орындай алады. Бұл ретте халықаралық мета-талдаулардағы орта-күшті эффект

өлшемдері ( $g = 0,70-1,01$ ) бұл функциялардың оқу нәтижелеріне нақты әсер ететінін статистикалық дәлелдейді.

Алайда «мұғалім» ұғымы — ол функциялардың жиынтығынан әлдеқайда кең. Мұғалім — ол ұстаз, тәлімгер, эмоционалды тірек, мәдени мұраны жеткізуші, азаматты қалыптастырушы. Дәл осы рөлдерде жасанды интеллект мұғалімді алмастыра алмайды және алмастырмауға тиіс. Ең тиімді модель — синергетикалық: мұғалім мен ЖИ бір команда болып жұмыс істейтін, ЖИ оқушының білім деңгейін, мықты және әлсіз тұстарын анықтайтын, ал мұғалім бұл деректерге сүйене отырып, тұлғаны қалыптастыруға бағытталған шешімдер қабылдайтын модель.

Қазақстан үшін осы кезеңде маңыздысы — Президент Жарлығымен бекітілген жоспардың жай ғана техникалық енгізуге емес, нақты педагогикалық нәтижеге бағытталуы. Бұл үшін мұғалімдерді жаппай қайта даярлау, ауыл мектептеріне сапалы интернет пен техника жеткізу, мемлекеттік тілдегі цифрлық оқу мазмұнын дамыту, академиялық адалдықтың жаңа стандарттарын енгізу қажет. Ең бастысы — ЖИ-ні мақсат емес, құрал ретінде қабылдау. Сол кезде ғана «жеке оқыту дәуірі» Қазақстан балаларының әрқайсысы үшін шынайы жаңа мүмкіндіктерге айналады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Қазақстан Республикасы Президентінің 2026 жылғы 12 мамырдағы №637 Жарлығы «Қазақстан Республикасының орта білім беру жүйесіне жасанды интеллектіні енгізу жөніндегі шаралар туралы». — <https://www.akorda.kz/kz/kazakhstan-respublikasynyn-orta-bilim-beru-zhuyesine-zhasandy-intellektini-endiru-zhonindegi-sharalar-turaly-124335>
2. Wang X., Huang R., Sommer M., Pei B., Shidfar P., Rehman M., Ritzhaupt A.D., Martin F. The Efficacy of Artificial Intelligence-Enabled Adaptive Learning Systems From 2010 to 2022 on Learner Outcomes: A Meta-Analysis // Journal of Educational Computing Research. — 2024. — <https://doi.org/10.1177/07356331241240459>
3. Wang J., Tigelaar D.E.H., Ye T., Admiraal W. A Meta-Analysis of Moderators of the Effects of Technology-Enhanced Adaptive Learning on Primary and Secondary Students' Learning Outcomes // Journal of Computer Assisted Learning. — 2025. — <https://doi.org/10.1002/jcal.70168>
4. Niyazova G., Duisekeyeva B., Berdi D., Usembayeva I., Mindetbayeva A.A. The effects of gamified AI-supported digital learning environments on personalized learning and student engagement in school education: a systematic review and meta-analysis // Frontiers in Education. — 2026. — <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1754080>
5. AI Can Deliver Personalized Learning at Scale, Study Shows // Dartmouth News. — November 2025. — <https://home.dartmouth.edu/news/2025/11/ai-can-deliver-personalized-learning-scale-study-shows>
6. AI's Impact on Education in 2025 // Cengage Group Perspectives. — 2025. — <https://www.cengagegroup.com/news/perspectives/2025/ais-impact-on-education-in-2025/>
7. How is ChatGPT impacting schools, really? // Stanford News. — July 2025. — <https://news.stanford.edu/stories/2025/07/chatgpt-open-ai-impact-schools-education-learning-data-research>
8. How Will Generative AI Change Education In 2025? // TeachingTimes. — January 2025. — <https://www.teachingtimes.com/how-will-generative-ai-change-education-in-2025/>
9. Ethical and regulatory challenges of Generative AI in education // Frontiers in Education. — June 2025. —
10. Ethics Is the Edge: The Future of AI in Higher Education // EDUCAUSE Review. — June 2025. — <https://er.educause.edu/articles/2025/6/ethics-is-the-edge-the-future-of-ai-in-higher-education>
11. Жасанды интеллект мұғалімнің жұмысын қалай жеңілдетеді? // El.kz. — Қазан 2025 ж. — <https://el.kz/zhasandy-intellekt-mugalimnin-zhumysyn-qalay-zhenildetedi-400039481/>
12. От пользователя к создателю: как ИИ в школах может вырастить новое поколение технологических лидеров Казахстана // Caravan.kz. — Май 2026 г. — <https://www.caravan.kz/news/ot-polzovatelja-k-sozdatelju-kak-ii-v-shkolah-mozhet-vyrastit-novoe-pokolenie-tehnologicheskikh-liderov-kazahstana/>

ӘОЖ 37.013:004.8:004.9

# БІЛІМ БЕРУ ҮДЕРІСІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ

**Сманова Улданай Калдыбаевна**

педагогика ғылымдарының магистрі, ассистент, Шерхан Мұртаза атындағы  
Халықаралық Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

**Аңдатпа.** Мақалада білім беру үдерісіндегі цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің рөлі, олардың педагогикалық мүмкіндіктері мен заманауи білім беру жүйесіне әсері қарастырылады. Цифрландыру жағдайында оқытудың мазмұны мен әдістерінің өзгеруі, білім алушылардың танымдық белсенділігі мен цифрлық құзыреттілігінің қалыптасуы талданады.

**Кілт сөздер:** цифрлық технологиялар, жасанды интеллект, білім беру, цифрландыру, цифрлық орта, педагогика, инновация, оқыту, цифрлық құзыреттілік.

**Аннотация.** В статье рассматриваются роль цифровых технологий и искусственного интеллекта в образовательном процессе, их педагогические возможности и влияние на современную систему образования. Анализируются изменения содержания и методов обучения в условиях цифровизации, а также формирование познавательной активности и цифровой компетентности обучающихся.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, искусственный интеллект, образование, цифровизация, цифровая среда, педагогика, инновации, обучение, цифровая компетентность.

**Abstract.** The article examines the role of digital technologies and artificial intelligence in the educational process, their pedagogical potential, and their impact on the modern education system. It analyzes changes in the content and methods of teaching in the context of digitalization, as well as the development of students' cognitive activity and digital competence.

**Keywords:** digital technologies, artificial intelligence, education, digitalization, digital environment, pedagogy, innovation, teaching, digital competence.

Қазіргі қоғамдағы цифрлық трансформация білім беру жүйесіне түбегейлі өзгерістер енгізуде. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың дамуы, интернет ресурстарының кеңеюі және жасанды интеллект құралдарының пайда болуы оқыту үдерісінің мазмұны мен құрылымына жаңа талаптар қойып отыр. Бүгінгі таңда білім беру тек ақпарат берумен шектелмей, тұлғаның шығармашылық, зерттеушілік және сыни ойлау қабілеттерін дамытуға бағытталуы қажет.

Цифрлық технологиялар білім алушылардың ақпаратқа қолжетімділігін арттырып, оқытудың икемді әрі интерактивті моделін қалыптастыруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, жасанды интеллект білім беру саласында оқыту сапасын арттырудың маңызды құралына айналып келеді. Бұл технологиялар білім алушылардың жеке ерекшеліктеріне бейімделген оқыту жүйесін құруға жағдай жасайды.

Цифрлық технологиялар – білім беру жүйесін жаңғыртудың негізгі факторларының бірі. Олар оқу үдерісін ұйымдастырудың жаңа формаларын енгізуге мүмкіндік береді.

Онлайн платформалар, электрондық оқулықтар, виртуалды зертханалар және мультимедиялық ресурстар білім сапасын арттыруға ықпал етеді.

Қазіргі таңда цифрлық технологиялар:

- қашықтан оқытуды дамытуға;
- ақпарат алмасуды жеңілдетуге;
- білім алушылардың танымдық белсенділігін арттыруға;
- оқытудың даралануына мүмкіндік береді.

Білім беру жүйесіндегі цифрлық ресурстар оқытушы мен студент арасындағы өзара әрекеттестікті күшейтеді. Сонымен қатар, олар уақытты тиімді пайдалануға жағдай жасап, оқу материалын визуалды түрде меңгеруді жеңілдетеді.

Жасанды интеллект – адам интеллектісіне тән әрекеттерді орындай алатын технологиялық жүйе. Қазіргі кезде жасанды интеллект білім беру саласында кеңінен қолданылып келеді.

Жасанды интеллекттің негізгі мүмкіндіктері:

- оқу материалдарын автоматты түрде құрастыру;
- білім алушылардың деңгейін талдау;
- жеке оқыту траекториясын қалыптастыру;
- автоматтандырылған бағалау жүргізу;
- виртуалды көмекші қызметін атқару.

Мысалы, интеллектуалды платформалар студенттің оқу үлгерімін талдап, оның әлсіз тұстарын анықтай алады. Бұл оқытушыға әр білім алушыға жеке тәсіл қолдануға мүмкіндік береді.

Цифрлық білім беру ортасы – ақпараттық технологиялар негізінде ұйымдастырылған білім кеңістігі. Оның басты ерекшелігі – білім алушының оқу үдерісіне белсенді қатысуы.

Цифрлық орта:

- интерактивтілікті;
- мобильділікті;
- қолжетімділікті;
- икемділікті қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, цифрлық ортада білім алушылар өздігінен білім алуға, ақпаратты іздеуге және өңдеуге үйренеді. Бұл олардың зерттеушілік қабілеттерін дамытуға ықпал етеді.

Жасанды интеллектіні білім беру үдерісінде қолданудың көптеген артықшылықтары бар.

Біріншіден, ол уақытты үнемдейді. Көптеген есептеу және тексеру жұмыстары автоматтандырылады.

Екіншіден, білім беру сапасы артады. Жасанды интеллект оқыту мазмұнын әр білім алушының деңгейіне бейімдей алады.

Үшіншіден, студенттердің қызығушылығы артады. Интерактивті және визуалды құралдар оқу процесін тартымды етеді.

Төртіншіден, оқытушының кәсіби қызметі жеңілдейді. Ол рутиналық жұмыстардан босап, шығармашылық бағытқа көбірек көңіл бөле алады.

Цифрлық технологиялардың адамның психологиясына әсері де маңызды мәселе болып табылады. Ақпараттың шамадан тыс көп болуы адамның зейін тұрақтылығына әсер етеді.

Кейбір зерттеулер бойынша, ұзақ уақыт цифрлық ортада болу:

- эмоционалдық шаршауға;
- тәуелділікке;
- әлеуметтік оқшаулануға алып келуі мүмкін.

Сондықтан білім беру жүйесінде цифрлық технологияларды қолдануда психологиялық қауіпсіздік мәселесіне ерекше назар аудару қажет.

Жасанды интеллектіні қолдануда бірқатар этикалық мәселелер туындайды:

- плагиат;
- академиялық адалдықтың бұзылуы;
- жеке деректердің қауіпсіздігі;
- технологияға тәуелділік.

Студенттер кей жағдайда жасанды интеллектіні дайын жауап алу құралы ретінде қолданады. Бұл олардың өздігінен ойлау қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Сондықтан білім беру жүйесінде жасанды интеллектіні қолданудың этикалық мәдениетін қалыптастыру қажет.

Цифрлық қоғам жағдайында педагогтің рөлі өзгеруде. Қазіргі оқытушы тек ақпарат беруші емес, ол:

- бағыттаушы;
- кеңесші;
- фасилитатор;
- мотивация беруші тұлға болуы тиіс.

Оқытушы цифрлық технологияларды тиімді пайдалана отырып, білім алушылардың шығармашылық әлеуетін дамытуы қажет.

Қорыта айтқанда, цифрлық технологиялар мен жасанды интеллект қазіргі білім беру жүйесінің ажырамас бөлігіне айналды. Олар оқыту сапасын арттыруға, білім беру процесін икемді ұйымдастыруға және білім алушылардың танымдық белсенділігін дамытуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, бұл технологияларды қолдануда психологиялық және этикалық мәселелерді ескеру маңызды. Жасанды интеллект адамды алмастырушы құрал емес, білім беру сапасын жетілдіретін көмекші технология ретінде қабылдануы тиіс.

Болашақта цифрлық білім беру ортасын дамыту педагогикалық инновациялардың негізгі бағыты болып қала береді.

#### **Әдебиеттер тізімі:**

1. Қоянбаев Ж.Б., Қоянбаев Р.М. Педагогика. – Алматы: Рауан, 2012.
2. Нұртазина Р.А. Педагогикалық психология негіздері. – Алматы, 2018.
3. Жайтапова А.А. Білім берудегі инновациялық технологиялар. – Алматы, 2019.
4. Құсайынов А.Қ. Білім беру жүйесіндегі реформалар және цифрландыру. – Алматы, 2020.
5. Сейталиев Қ.Б. Жоғары мектеп педагогикасы. – Алматы, 2015.

# THE ROLE OF INNOVATIVE METHODS IN TEACHING ENGLISH AS A FOREIGN LANGUAGE

**Narmina Sharifova**

PhD, Teacher, Azerbaijan Medical University

## Annotation

English occupies an important place in education, science, professional communication and international cooperation. For this reason, teachers of English as a foreign or second language increasingly need methods that develop not only grammatical knowledge but also communicative competence, motivation, learner autonomy and confidence. This article examines the role of innovative methods in teaching English and compares them with traditional teacher-centered approaches. The paper focuses on the pedagogical use of mobile devices, online dictionaries, authentic films, debate, conversation clubs and music-based activities. The discussion shows that these tools can enrich the language classroom when they are selected according to learners' level, learning objectives and classroom conditions. Innovative methods should not be used as decoration or entertainment only; they should create meaningful communication, encourage active participation and support the development of listening, speaking, vocabulary and intercultural awareness. The article concludes that a balanced combination of traditional and modern methods can make English lessons more effective, inclusive and learner-centered.

**Keywords:** English language teaching, innovative methods, second language learning, communicative competence, digital tools, student-centered learning, learner motivation

## Introduction

English has become one of the main languages of global communication. In many educational contexts it functions not only as a school or university subject but also as an instrument for professional development, academic mobility and access to international information. This situation places new demands on foreign language teachers. They are expected to teach grammar, vocabulary and pronunciation, but at the same time they must develop learners' ability to communicate spontaneously, collaborate with others and use language in authentic social situations.

Traditional teaching methods, especially grammar-translation, explanation, repetition and lecture-based instruction, continue to have pedagogical value because they provide structure, accuracy and discipline. However, when these methods dominate the whole learning process, students may remain passive and may have limited opportunities to use English for real communication. Innovative methods seek to solve this problem by increasing learner involvement, using real-life materials, creating communicative tasks and integrating digital technologies. Broughton et al. (2003) emphasize that foreign language learners are best motivated when they sense that language practice is communicative, contextualized and connected with the development of real competence.

The relevance of innovative methodology is connected with changes in the modern classroom. Learners are surrounded by digital media, mobile devices, films, songs, online dictionaries and social communication platforms. These resources can either distract them from learning or be transformed into productive learning tools. The teacher's task is therefore not



simply to prohibit new technologies, but to organize them in a purposeful, ethical and pedagogically effective way.

### **Aim and objectives of the article**

The aim of this article is to analyze the role of innovative methods in teaching English as a foreign or second language and to show how such methods can complement traditional instruction. The article also seeks to identify practical classroom techniques that can improve motivation, listening, speaking, vocabulary development and learner confidence.

The main objectives are: to compare traditional and innovative approaches to English language teaching; to describe selected innovative tools and activities; to discuss the pedagogical conditions under which these tools become effective; and to demonstrate that innovation in language teaching should be connected with clear learning outcomes rather than with technology for its own sake.

### **Research methods**

The article is based on descriptive, comparative and analytical methods. It compares teacher-centered and student-centered approaches, summarizes ideas from methodological literature and presents practical examples of activities that may be used in English language classrooms. The paper is conceptual and pedagogical in character; it does not present experimental statistical data. Therefore, the proposed activities should be understood as methodological recommendations that can be adapted to learners' age, level, institutional requirements and available resources.

### **Traditional and innovative methodology in English language teaching**

Traditional methodology usually places the teacher at the center of the lesson. The teacher explains rules, translates vocabulary, controls classroom interaction and evaluates students' answers. This approach can be useful at the early stages of language learning because students need clear models, accurate explanations and systematic practice. It is also important for teaching grammar, spelling, pronunciation rules and examination-oriented material.

At the same time, language cannot be mastered only through explanation and memorization. Students need practice in meaningful contexts. Modern methodology therefore emphasizes communication, cooperation, learner autonomy, problem-solving and creative use of language. In such lessons, the teacher becomes not only a source of information but also a facilitator, organizer and motivator. Scrivener (2005) argues that effective language teaching depends on the teacher's ability to create conditions in which learners can notice, practice and use language actively.

Innovative methodology does not mean rejecting all traditional methods. A productive English lesson often combines explanation, controlled practice, pair work, group work, authentic materials, digital tools and reflective feedback. The main issue is balance. Traditional methods help build accuracy, while innovative methods help learners develop fluency, confidence and communicative competence.

### **Innovative methods and practical classroom applications**

#### **1. Mobile devices and online dictionaries**

Mobile devices are often viewed as a source of distraction in the classroom. Nevertheless, when their use is controlled and connected with learning objectives, they can become useful tools. Students can use mobile phones or tablets to consult online dictionaries, check pronunciation, record short speaking tasks, participate in vocabulary quizzes, search for examples of word usage and access teacher-selected learning platforms.

The teacher should establish clear rules for using devices: what resource should be opened, how much time students have, what product they must produce and how the activity will be assessed. For example, students may be asked to find three meanings of a new word, listen to its pronunciation, write one original sentence and then compare their sentence with a partner. In

this way, technology becomes a means of active learning rather than a passive source of information. Gore's (2010) study on cell phones and iPods in high school classrooms also reminds teachers that the learning value of devices depends on purposeful management and classroom discipline.

## **2. Films and authentic video materials**

Films, documentaries and short video clips can make English lessons stimulating and enjoyable. They expose learners to authentic speech, natural pronunciation, intonation, accents, facial expressions, gestures and cultural information. Sherman (2003) and Goldstein and Driver (2015) show that video materials can be used not only for entertainment but also for the systematic development of listening, speaking, vocabulary and intercultural awareness.

The effectiveness of video depends on careful preparation. Before watching, the teacher may introduce key vocabulary, ask prediction questions or discuss the topic. While watching, learners may complete a table, identify expressions, note examples of intonation or answer comprehension questions. After watching, they may retell the scene, discuss characters' decisions, write a short summary, act out a dialogue or compare the situation with their own cultural experience. Films are especially valuable because they create a bridge between classroom English and real communicative situations.

## **3. Debate and discussion activities**

Debate classes create conditions for active language use. When students discuss topics that are close to their interests - for example, music, films, technology, social media, education or professional plans - they often become more willing to speak even if they make mistakes. Debate helps learners develop fluency, argumentation, critical thinking, turn-taking and the ability to respond spontaneously.

To organize a debate, the teacher may divide the class into two groups, assign positions, give preparation time and provide useful phrases such as "I agree because...", "I would like to add...", "In my opinion..." and "Could you clarify your point?" The teacher should evaluate not only grammatical accuracy but also participation, clarity of argument and respectful interaction. Such activities support confidence and help students understand that language learning is connected with expressing meaning, not only with avoiding errors.

## **4. Conversation clubs**

Conversation clubs can be organized during or after classes. Their main purpose is to give learners additional speaking practice in a less formal environment. The topic, materials and format may be selected together with students. Pictures, real objects, short texts, music, role cards and problem situations can help start and maintain communication.

The advantage of a conversation club is that it increases student control over learning. Learners choose topics, ask questions, exchange opinions and help one another. The teacher may act as a moderator rather than as a lecturer. This format is especially useful for students who understand English grammar but have limited experience in speaking. Regular conversation practice can reduce fear of mistakes and develop communicative confidence.

## **5. Music and song-based activities**

Music is another effective tool for English language teaching. Songs can improve listening skills, pronunciation, rhythm, intonation, vocabulary and memory. They also create a positive emotional atmosphere, which is important because motivation is one of the central factors in second language learning (Mata, 2001).

Several activities may be used with songs. In a cloze procedure, selected words are removed from the lyrics and students fill in the gaps while listening. In word bingo, students choose words from the song and mark them as they hear them. In reordering tasks, lines or phrases are given in the wrong order and students arrange them correctly. In retelling tasks,

learners explain the story or message of the song in their own words. These activities transform music from passive listening into active language practice.

### **Pedagogical conditions for effective innovation**

Innovative methods are effective only when they are pedagogically justified. First, the teacher must define the learning objective: whether the activity is intended to develop listening, speaking, vocabulary, grammar, pronunciation, writing or intercultural competence. Second, materials should correspond to students' language level. If the text, film or song is too difficult, learners may lose motivation; if it is too easy, the task will not stimulate development.

Third, the teacher must consider classroom management. Technology, films and music may become distractions if students do not understand the task or if the activity has no clear outcome. Fourth, activities should be inclusive. Students differ in language level, learning style, confidence and access to devices. Therefore, pair work, group support, alternative tasks and teacher guidance are necessary.

Finally, innovative methods should include assessment and feedback. Students need to know what they have learned and how they can improve. Short oral feedback, peer correction, self-assessment checklists, vocabulary notebooks and simple speaking rubrics can help connect creative activities with measurable learning progress.

### **Conclusion**

The use of innovative methods in teaching English can significantly enrich the learning process. Mobile devices, online dictionaries, films, debates, conversation clubs and music-based tasks create opportunities for active participation and meaningful communication. They also help students develop confidence, motivation and practical language skills.

At the same time, innovation should not be understood as the mechanical use of technology or entertainment. The teacher must select methods according to the aims of the lesson, the level of the learners, the content of the curriculum and the conditions of the classroom. Traditional methods remain useful for explanation, accuracy and systematization, while innovative methods strengthen communication, creativity and learner independence.

Therefore, the most effective approach is an integrated one. A successful English teacher combines traditional and modern methodology, uses technology responsibly and creates a classroom atmosphere in which learners are active participants in their own language development. Such an approach can make English language teaching more effective, inclusive and relevant to the needs of contemporary learners.

### **References**

- Broughton, G., Brumfit, C., Flavell, R., Hill, P., & Pincas, A. (2003). *Teaching English as a foreign language* (2nd ed.). Routledge.
- Goldstein, B., & Driver, P. (2015). *Language learning with digital video*. Cambridge University Press.
- Gore, L. (2010). Relationship between high school students' use of cell phones and iPods and their effect on classroom grades. *OTS Master's Level Projects & Papers*, 42. Old Dominion University.
- Mata, K. (2001). *ESL: Language teaching approaches*. Gata Review.
- Scrivener, J. (2005). *Learning teaching: A guidebook for English language teachers* (2nd ed.). Macmillan.
- Sherman, J. (2003). *Using authentic video in the language classroom*. Cambridge University Press.

N.E. Sharifova

## İngilis dilinin tədrisində innovativ metodların rolu

### Xülasə

İngilis dili dünyada vacib dilə çevrilib. İkinci dil öyrənən ölkələrin müəllimləri sinifdə dili səmərəli şəkildə tədris etmək üçün innovativ metodlar yaradırlar. Sinif strukturları dəyişdirildiyi üçün tədris planı bütün tələbələrin tələbatlarını ödəmək üçün genişləndirilir və müəllimlər siniflərindəki tələbələrinə dil öyrənmə prosesini tədris etməyə və inkişaf etdirməyə kömək etməyə çalışırlar. Uğurlu müəllim olmaq üçün istifadəyə verilmiş effektiv tədris metodları ilə bərabər fərqli təlim alətləri də tədris prosesinə daxil edilməlidir. Tədris materialları, tədris texnikası ikinci dil öyrənənlərin marağına uyğun yenilənməlidir. İnnovativ tədris materialları, ikinci dilin tədrisi üçün təcrübə və müxtəlif vasitələrlə yerinə yetirilməlidir.

Məqalədə ingilis dilinin tədrisində innovativ və maraqlı metodlar təsvir edilmişdir. Məqalə ənənəvi və müasir tədris metodları olan iki növün birləşməsinə və təlimimizi necə effektiv edə biləcəyimizi xarakterizə edir.

Məqalədə tədqiqatçılar tərəfindən araşdırılan ikinci dil sinifində yaradıcı tədris metodikalarının istifadə səviyyəsinə toxunulur. Sinifdə tələbələrin ikinci dil öyrənmə qabiliyyətini inkişaf etdirmək üçün qəzet, media, filmlərdən istifadə, tərcümə reklamlarını tərcümə etmək kimi bir sıra keyfiyyət metodlarından istifadə edilə bilər. Bundan əlavə, məqalədə şagirdlərin təlim qabiliyyətini və dərslə olan marağını dərk edərək tədris metodologiyalarının sinifdə necə dəyişdirilməli və istifadə edilməsinə diqqət yetirilmişdir.

**Açar sözlər:** atmosfer, qiymətləndirilmiş, ənənəvi, müasir, innovativ, tədris metodologiyası, inam inkişaf etdirmə, ikinci dil öyrənmə

Н.Э. Шарифова

## Роль инновационных методов в обучении английскому языку

### Резюме

Английский стал важным языком в мире. Учителя из стран, изучающих второй язык, создают инновационные методики для эффективного преподавания языка в классе. В связи с тем, что обстановка в классе была изменена, учебная программа была расширена для удовлетворения потребностей всех учащихся, и учителя стремятся помочь своим ученикам в их классе учиться и развивать свой процесс изучения языка. Чтобы быть успешными учителями, нам необходимо использовать различные инструменты обучения, учитывая эффективные методы обучения, которые уже используются.

В этой статье описываются инновационные и интересные методы в преподавании английского языка. Он характеризует сочетание двух типов, которые являются традиционными и современными методами обучения, и того, как мы можем сделать наше обучение эффективным.

В статье рассматривается уровень использования креативных методик обучения в классе второго языка, изученный исследователем. Ряд качественных методов, таких как использование газет, средств массовой информации, фильмов, интерпретация рекламных объявлений, могут быть использованы в классе для развития способности учащихся изучать второй язык. Кроме того, статья посвящена тому, как методики обучения должны быть соответствующим образом изменены и использованы в классе, понимая способность учащихся к обучению и их интерес к обучению в классе.

**Ключевые слова:** атмосфера, оцененная, традиционная, современная, инновационная, методика обучения, развитие уверенности, изучение второго языка

## Economic Sciences

# BUILDING A SUSTAINABLE FINANCIAL SYSTEM: A CASE STUDY OF AZERBAIJAN'S NASCENT GREEN BOND MARKET

Halima Sadigova

Master's Student, Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Faculty of Economics and Management – Management, Baku, Azerbaijan, ORCID ID : 0009-0004-5963-2472

**Abstract:** *Based on existing academic literature, green banking can primarily evolve along three directions: green product development, green corporate social responsibility, and green internal processes. This study qualitatively evaluates the commitment of seven top performing banks in Azerbaijan to green banking initiatives and categorizes their activities across these dimensions. The results of the content analysis illustrate that the banks under study demonstrated the strongest commitment in the areas of green products and corporate social responsibility. The adoption of green banking practices is anticipated to expand within the banking sector of Azerbaijan in the foreseeable future. Moreover, this article empirically examines the impact of environmental performance, primarily related to the internal processing category of business operations and assessed by resource consumption, on the profitability of the top two banks in Azerbaijan. The results reveal that, after controlling for bank size, environmental indicators do not exert a statistically significant impact, either positive or negative, on the profitability of these banks. Notably, energy consumption and GHG emissions exhibited the most considerable negative association, while only water consumption demonstrated a positive relationship with profitability. These findings support the tenets of Legitimacy theory and align with the findings of previous studies.*

**Keywords:** *green banking, green finance, sustainable development, commercial banks, profitability.*

## INTRODUCTION

Society is coping with the complex problems of climate change. Nowadays, people are analysing global warming and its effects on humanity. Reducing carbon emissions and dependence on hydrocarbon fuels, and ensuring an appropriate transition to renewable energy sources, are the main requirements. With this goal in mind, many countries and companies have declared their commitments to achieve zero carbon levels by 2050. However, given that the transition is not limited to the energy sector alone, but also covers agriculture, industry, tourism, and many other sectors, this approach emphasizes the need for systematic environmental management for sustainable and inclusive development.

This goal serves the interests not only of society but also of many stakeholders, such as private companies responsible for pollution, financial institutions like banks, and policymakers. All parties play an important role in the development of society. Although banking activities do not have a direct physical impact on the environment, the external impact of bank customers' activities should be taken into account. Therefore, there is a need for banks to follow the "green" trend in their development strategies. This strategy should be reflected in various banking operations, including investment and financing decisions.

Going green brings plenty of benefits to the community and nature. For example, the decline in paper waste due to switching many transactions to online channels helps reduce deforestation. Digitalization, on the other hand, reduces the risk of errors (Kesavan, 2018).

Environmental management in the banking sector is similar to risk management. Environmental risk management can be organized according to relevant guidelines (Hoque et al., 2019). With this method, banks take into account both investment and environmental risks in their decision-making processes. Banks also intensively adopt in-house environmental management. The key aspects of these activities include:

- Reduction in utility, paper, and stationery consumption.
- Use of renewable energy.
- Waste management.
- Green travel for employees.
- Reference to ethical banking.

The main objective of this study is to review the green banking practices implemented in commercial banks in Azerbaijan, as well as green banking policies and practices observed across the globe, for comparative analysis. Meanwhile, the research emphasizes the role of the financial system in the green transformation of banks. Additionally, the article evaluates the environmental performance of banks. This study aims to contribute to academic literature by investigating how the environmental costs borne by banks affect their profitability in Azerbaijan.

As the international campaign to address climate change intensifies, countries around the world are seeking innovative financing mechanisms to “contribute [...], in a nationally determined manner, taking into account the Paris Agreement and their different national circumstances, pathways and approaches [to transition] away from fossil fuels in energy systems, in a just, orderly and equitable manner, accelerating action in this critical decade, so as to achieve net zero by 2050 in keeping with the science”—to quote from the COP28 decision text. The question of climate finance, which the Azerbaijani Presidency of COP29 has indicated will be its “top negotiating priority” has become paramount, with the \$100 billion per annum amount now understood by everyone as being far too low: on 27 July 2024, U.S. Treasury Secretary Jannet Yellin stated in Bélem, Brazil (the host city of COP30), that “no less than \$3 trillion in new capital from many sources” will be required “each year between now and 2050” to combat change—or, as she put it, to “transition to a lower-carbon global economy.”

It is within this global context that we enter into the topic of green bonds as one possible new financing mechanism for advancing the adaptation and mitigation strategies of climate action. We will focus on Azerbaijan, because this is the country we know best. In Azerbaijan, a country rich in natural resources but facing the challenges of carbon emissions and energy sustainability, the concept of green bonds has emerged as a promising avenue for mobilizing investment towards sustainable practices, environmental projects, and other forms of climate action. This article explores in depth the potential of green bonds in Azerbaijan, their role in driving the “transition away from fossil fuels,” and the challenges and opportunities they present. Climate and environmental changes pose significant mid- and long-term risks to all economic sectors. The current conventional scientific wisdom is that continuous greenhouse gas (GHG) emissions contribute to global warming, which may have catastrophic economic, financial, and social consequences. Therefore, implementing comprehensive actions to mitigate these risks is essential for sustainable development.

One mitigative action that has been gaining traction globally has been the issuance of what are called “green bonds,” which are financial instruments specifically designed to raise capital for projects with environmental benefits. These projects encompass a wide range of initiatives, including renewable energy infrastructure, energy efficiency improvements, sustainable land use practices, and clean transportation systems. The defining feature of green bonds is in their



targeted use of proceeds, which must be allocated exclusively to environmentally friendly projects and verified through a set of demanding standards and certifications such as the Climate Bonds Initiative (CBI) or the International Capital Market Association (ICMA) Green Bond Principles. The global green bond market has seen significant growth since its inception, with cumulative issuance surpassing \$1 trillion by the end of 2020. In 2021, green bond issuance reached approximately \$500 billion, up from \$297 billion in 2020. Current estimates suggest that annual issuance exceeded \$1 trillion in 2023. Comparatively, the global bond market, including all types of bonds, was valued at around \$128.3 trillion in 2020. Green bonds represent, in other words, but a few drops in the global bond market bucket; on the other hand, the number of drops seems to be compounding.

Green bonds typically have lower interest rates compared to traditional bonds, known as the “greenium” (green premium), where yields can be up to 10 basis points lower. This is because investors are willing to accept lower returns in exchange for the potential positive environmental impact of their investment. Traditional bonds, without this environmental incentive, usually offer higher yields. Investor demand for green bonds is driven by the focus on what is called Environmental, Social, and Governance (ESG) criteria. In 2021, more than 60 percent of green bond investors were dedicated green funds or funds with significant ESG mandates. Traditional bonds attract a broader investor base but do not specifically cater to ESG-focused investors. Green bond proceeds are earmarked for projects with clear environmental benefits, such as renewable energy and energy efficiency. Traditional bond proceeds, however, can be used for a wide range of purposes without specific environmental or social focus. Issuers of green bonds must adhere to standards and frameworks like the aforementioned Green Bond Principles by the ICMA, ensuring transparency and accountability in reporting environmental impact. Traditional bonds follow standard financial regulations without these specific mandates. Studies show green bonds can perform comparably to traditional bonds in terms of price stability and default rates. For instance, a study by Barclays found green bonds had slightly lower volatility, making them attractive to risk-averse investors. Traditional bonds provide stable returns and are becoming a staple in some investment portfolios. Green bonds have rapidly increased in issuance and market size, reflecting growing investor interest in sustainable investments. Traditional bonds continue to dominate due to their longstanding presence and versatility. Green bonds attract ESG-focused investors willing to accept lower yields for environmental benefits, whereas traditional bonds attract a broader range of investors focused on returns. Green bonds require adherence to environmental standards, enhancing transparency, while traditional bonds follow general financial regulations. Traditional bonds remain a cornerstone of the global bond market, but green bonds are gaining traction due to their alignment with sustainable development goals, increasing investor demand for ESG-compliant investments, and climate action financing imperatives. The green bond market’s significant growth is solidifying its role in financing environmentally sustainable projects and adaptation and mitigation strategies dealing with climate change.

Azerbaijan, having substantial oil and gas reserves, has historically relied heavily on fossil fuels for its energy needs. However, the government of Azerbaijan recognizes the importance of diversifying its economic streams and reducing greenhouse gas emissions in alignment with global climate goals. This is reflected in the country’s sustainable development strategies, such as “Azerbaijan 2030: National Priorities of Socio-Economic Development” and the “Socio-Economic Development Strategy of 2022-2026,” aligned with the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). Azerbaijan has been part of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) since 1995 and aims to reduce GHG emissions by 35 percent by 2030 compared to 1990 levels and by 40 percent by 2050. On top of that, the government of Azerbaijan has set a target to create a “zero emission zone” in the liberated territories and increase renewable energy share in total energy production to 30 percent by 2030 throughout the whole country. A stronger light is



being shined on the country given its Presidency of COP29, the annual Conference of the Parties to the UNFCCC that will take place in November 2024 in Baku.

The global trend towards greening and decarbonization presents opportunities for Azerbaijan's financial sector, particularly in funding green projects and promoting sustainable financial products, hence making its role particularly important in supporting the transition to a sustainable economy and the global fight against climate change. However, opportunities must be considered along with physical and transition risks, such as those posed by extreme weather events and the shift to a low-carbon economy. This is especially vital as according to the Central Bank of Azerbaijan (CBA), approximately 55 percent of the banking sector's loan portfolio is exposed to climate-related economic risks. In the past two years, Azerbaijan has undertaken several initiatives towards sustainable practices, focusing on various sectors including energy, environment, and economic development. In the energy sector, a feasibility study is currently underway under the curation of the Ministry of Energy on the Caspian-Black Sea-Europe green energy corridor. A Memorandum of Understanding (MoU) has already been signed with the Governments of Georgia, Hungary, and Romania to build a subsea cable under the Black Sea. Another MoU has been signed by WindEurope and the Azerbaijan Renewable Energy Agency to accelerate the deployment of onshore and offshore wind energy. Furthermore, large-scale solar and wind power plants, such as the 230 MW Garadagh Solar Power Plant and the 240 MW Khizi-Absheron Wind Power Plant, have also been developed in collaboration with international partners.

The establishment of SOCAR Green LLC by the country's state oil and gas company SOCAR solidifies the commitment of the energy sector to increase the country's capacity for sustainable energy. SOCAR Green LLC focuses specifically on renewable energy projects, signifying a strategic move not only to diversify SOCAR's portfolio but also to contribute directly to Azerbaijan's broader energy transition objectives by promoting renewable energy sources.

In the transport sector, the Ministry of Digital Development and Transport (MDDT) has developed an ambitious mobility program that aims to completely transform urban transportation in Baku. This program has introduced bike-sharing schemes in urban areas to promote cycling as a sustainable mode of transportation and developed pedestrian zones and walkways to encourage walking and reduce reliance on motor vehicles. Public transportation is planned to be further greenified as 3,000 electric buses are set to be deployed in Baku to electrify the bus fleet. This announcement goes in line with a statement by BYD, a leading Chinese manufacturer of electric vehicles, to invest \$34 million in the establishment of localized production of electric vehicles in Azerbaijan.

However, it is not only public transportation that is getting greenified: the private Electric Vehicles (EVs) market continues to expand in the country, with around 4,000 EVs already on the road supported by nearly 90 charging stations around the country. It has also been reported that the customs duty on certain types of hybrid and electric motorcycles and bicycles has been reduced to 15 percent in order to expand the usage of EVs.

Following the strategic direction provided by the Azerbaijani government, the Central Bank of Azerbaijan (CBA) has integrated sustainable finance into its strategic priorities to ensure financial sector alignment with the SDGs and climate action goals. The Sustainable Finance Roadmap (SFR) outlined by the CBA in 2023 underscores the promotion of green finance instruments, including the issuance of green bonds, as integral to the country's sustainable development and climate action agenda. This roadmap sets a multifaceted agenda aimed at transitioning Azerbaijan's financial sector to align with national and global sustainable development and climate action goals, emphasizing the need for regulatory support, capacity building, and international cooperation to achieve these aims. The CBA aims to integrate climate-related and ESG factors into financial regulation and market standards. According to the CBA's 2024 Sustainable Finance Report,

initiatives have already been undertaken to enhance the capacity of financial institutions in sustainable finance, including training sessions with IFC experts. Efforts include developing standards for climate-related and ESG risk assessments and ensuring market transparency to prevent greenwashing.

The Report provides four pillars of the sustainable finance roadmap. One, Raising Awareness and Capacity Building focuses on educating both financial intermediaries and the public about climate-related and ESG risks. This includes internal capacity building within CBA and external awareness-raising initiatives. Two, Enabling Environment for Sustainable Finance Flows involves developing sustainable finance guidance, establishing a taxonomy, fostering green finance ecosystems, and exploring green sovereign bonds. Three, Integrating Climate-Related and ESG Factors into Risk Management incorporates climate and ESG risks into the CBA's supervisory framework, financial intermediaries' strategies, governance, and risk management. And four, Ensuring Market Transparency and Discipline enhances transparency through climate-related risk disclosures, publishing progress on the roadmap, and setting regulatory expectations for financial intermediaries.

While these initiatives showcase a governmental commitment to transition towards sustainable and climate-friendly practices, in order to meet the ambitious targets and remain in alignment with the SDGs, more efforts will be required, spanning regulatory and policy issues, business incentives and initiatives, as well as garnering public support through targeted awareness campaigns and community engagement.

Green bonds can play an instrumental role in enhancing efforts to achieve these targets; however, the approach must be calculated and holistic as the green bonds market in Azerbaijan is still in its early stages, which poses a number of opportunities and challenges. Green bonds have significant potential to attract both domestic and international investors interested in supporting sustainable projects. For example, the Dutch government issued a €6 billion green bond in 2019, which financed offshore wind farms generating 3.5 GW of electricity. Similarly, France's €7 billion green bond issued in 2017 was used to expand the Paris Metro, reducing urban emissions, and improving public transportation. These examples illustrate how Azerbaijan can leverage green bonds to fund renewable energy projects, energy-efficient buildings, and other sustainable initiatives, thereby attracting substantial investment.

Furthermore, green bonds offer favorable financing terms, such as lower interest rates and longer tenures, compared to traditional bonds. California's \$600 million green bond issuance in 2019, which funded the construction of a high-speed rail line, exemplifies the cost-effectiveness of green bonds. This approach could make green bonds an attractive financing option for Azerbaijan's sustainable projects. Issuers of green bonds are required to provide detailed information about the use of proceeds and the environmental impact of funded projects, fostering investor trust and promoting accountability. For instance, Apple issued \$4.7 billion in green bonds between 2016 and 2020, funding energy-efficient upgrades and renewable energy projects, and showcasing the positive impact of such transparency. Participating in the green bond market also positions Azerbaijan as a proactive player in global efforts to combat climate change. Nigeria's issuance of its first green bond worth ₦10.69 billion (\$30 million) in 2017 positioned the country as a leader in sustainable finance in Africa. Similarly, by aligning with international trends, Azerbaijan can enhance its reputation and attract sustainable investors.

Green bonds also integrate Azerbaijan into the global sustainable finance market, improving the country's international financial standing and opening up additional funding opportunities from global institutions. This financial integration can lead to increased investment and collaboration with international partners. Collaboration between the public and private sectors is essential for the effectiveness of green bonds. Governments can establish favorable regulatory frameworks and incentives, while private enterprises can bring innovation and efficiency to project

implementation. Public-private partnerships (PPPs) can leverage the strengths of both sectors, ensuring that green projects are financially viable and effectively managed. Green bonds can also fund the development of sustainable infrastructure projects such as electric vehicle (EV) charging stations, energy-efficient public buildings, and smart grids. Mexico City's issuance of \$50 million in green bonds in 2017, which financed energy efficiency projects in public buildings and reduced energy consumption by 20 percent, thereby demonstrating the potential impact of green bonds on infrastructure development. Investing in green projects through green bonds can spur job creation and stimulate economic growth. Renewable energy installations, sustainable agriculture, and clean technology innovations generate employment and foster economic resilience. For example, Morocco's \$100 million green bond issuance for solar and wind projects has created numerous job opportunities while advancing the country's renewable energy goals. Green bonds support projects that provide long-term environmental benefits, such as reduced carbon emissions, improved air quality, and enhanced biodiversity. These projects contribute to the global effort to combat climate change and preserve natural resources, aligning with Azerbaijan's environmental objectives. Developing the green bond market in Azerbaijan also presents several challenges. The market is in its nascent stages, requiring efforts to raise awareness, build capacity, and develop regulatory frameworks. In 2023, the CBA conducted its Sustainable Finance Survey, revealing significant barriers: 73 percent of respondents were unaware of sustainable finance activities, 48 percent cited an insufficient regulatory framework, 52 percent pointed to a lack of human capacity, and 23 percent identified a lack of regulatory requirements. These findings highlight the need for comprehensive education and capacity-building initiatives. Ensuring a robust pipeline of eligible green projects is critical for sustaining investor interest. Targeted investments in research and development are necessary to identify and prioritize viable projects that align with Azerbaijan's environmental and energy objectives.

Green bonds require cross-sectoral collaboration and accurate, transparent data flow. Technologies like blockchain can ensure transparency and accountability in the use of green bond proceeds. Enhanced data governance and digitalization efforts are also needed to ensure investor confidence. For example, implementing blockchain technology can provide real-time tracking of how funds are allocated and spent, ensuring that projects meet their environmental goals. Moreover, developing a comprehensive regulatory framework that supports green bond issuance is crucial. Azerbaijan must establish clear guidelines and standards for green bond issuance to align with international best practices. The lack of a robust regulatory framework can hinder market development and investor confidence. Adopting frameworks like the aforementioned Green Bond Principles by the ICMA can provide the necessary regulatory support. Building local expertise in sustainable finance is also essential for the growth of the green bond market. Financial institutions, regulators, and market participants in Azerbaijan may lack the necessary knowledge and skills to effectively manage and issue green bonds. Capacity-building initiatives and training programs are needed to address this gap. Moreover, green projects often involve high upfront costs, which can be a barrier for issuers and investors. Developing innovative financing mechanisms and leveraging international support can help mitigate these costs and make green projects more attractive. In addition, building investor trust in the green bond market is crucial. Investors may be skeptical about the environmental impact and financial returns of green projects. Transparent reporting, third-party verification, and adherence to international standards can help address these concerns and build confidence. For example, Apple's issuance of green bonds included detailed reporting on the environmental impact of funded projects, setting a standard for transparency.

Furthermore, ensuring market liquidity is essential for the success of green bonds. Developing platforms for trading and tracking green bonds can enhance market liquidity and transparency, making green bonds a more attractive investment option. For instance, the establishment of green bond segments on stock exchanges, such as the London Stock Exchange's dedicated green bond

segment, has improved market liquidity and investor access. Achieving substantial environmental and climate benefits requires a long-term commitment from all stakeholders. Continuous monitoring, evaluation, and adaptation of strategies are necessary to ensure the sustained impact of green projects. This long-term perspective may be challenging to maintain, especially in the face of short-term economic pressures. Implementing robust monitoring and evaluation frameworks, as demonstrated by the World Bank's climate finance initiatives, can ensure ongoing project success and impact. Strides have been made in the fields of data governance and digitalization in the public sector, particularly through the efforts of the Innovation and Digital Development Agency, under the curation of the MDDT. However, more efforts are needed to streamline and cascade good data governance models that ensure transparency, traceability, verifiability, and accuracy of data related to green bonds-funded projects to ensure investor confidence and simplify collaboration between multiple stakeholders. Engaging stakeholders across the public and private sectors, including financial institutions, regulatory bodies, and environmental and climate action experts, is key to fostering a thriving green bond market ecosystem in Azerbaijan. Collaboration can lead to knowledge sharing, innovative financing structures, and enhanced market transparency.

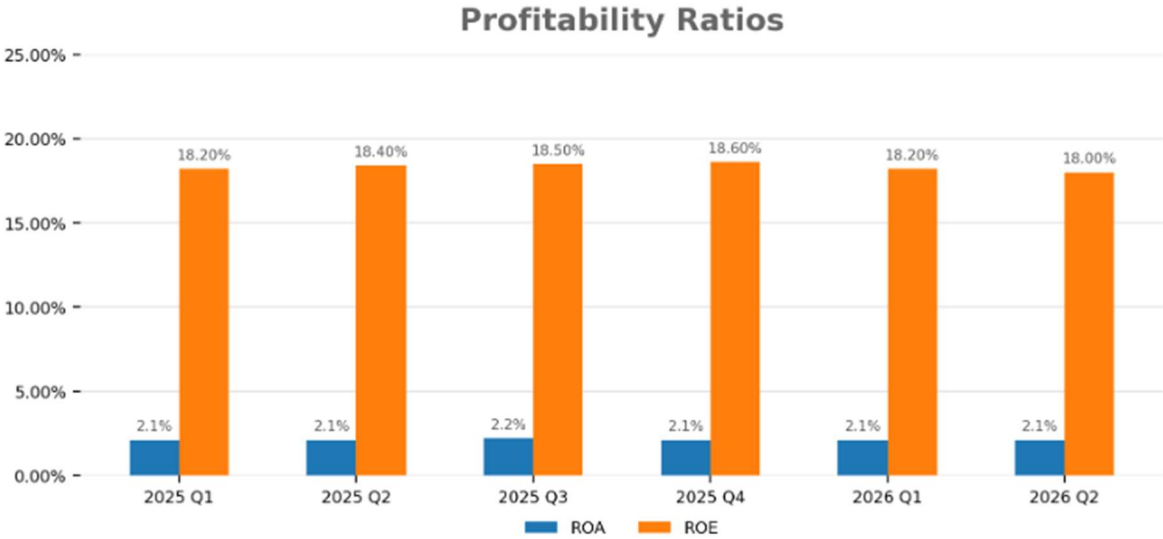
To build a successful green finance capacity, Azerbaijan must adopt a systematic approach, addressing regulatory, strategic, and operational dimensions. There are a number of measures that, when taken concurrently, could bring Azerbaijan into the global green bond mainstream. Each will be briefly outlined below. Developing a comprehensive regulatory framework that integrates environmental and financial policies is essential. Starting with voluntary guidelines for green bonds and progressing towards mandatory regulations informed by international best practices, such as the Green Bond Principles by the ICMA, will provide the necessary regulatory support. Collaboration among government bodies, financial institutions, the private sector, and international partners is crucial. Leveraging expertise and resources from international organizations like the World Bank and the International Finance Corporation (IFC) can enhance local capacities and improve access to global markets. For instance, Morocco's collaboration with the World Bank to develop its green bond market has resulted in successful issuances and increased investor interest. Implementing stringent and transparent reporting standards for green projects will ensure that investors are well-informed about the use and impact of their investments. Introducing third-party verification and auditing for independent assurance of compliance with green standards can build investor trust. For example, Chile's green bond issuance included third-party verification to ensure transparency and accountability.

Developing standardized criteria for what qualifies as a green project, aligned with international classifications such as the EU Taxonomy for sustainable activities, will simplify the identification and approval process for green bonds. Introducing a certification scheme for green projects can further enhance this process. South Africa's Green Finance Taxonomy, aligned with the EU Taxonomy, provides a useful reference. Training programs for government officials, financial institutions, and project developers are necessary to enhance understanding of green bonds and sustainable finance. Public awareness campaigns should also be conducted to highlight the benefits of green bonds and sustainable investments. Developing the necessary market infrastructure, including platforms for trading and tracking green bonds, will enhance market liquidity and transparency. Launching pilot projects to demonstrate the viability and benefits of green bonds can create case studies that attract future investments. The Asian Development Bank's support for pilot green bond projects in Vietnam illustrates the potential impact of such initiatives.

Conducting thorough social and environmental impact assessments for all green projects will ensure they deliver substantial environmental and climate benefits without negative social consequences. Implementing robust monitoring and evaluation frameworks to track the

performance and impact of green projects over time is essential. The World Bank’s comprehensive impact assessment frameworks provide valuable guidance. By adopting these systematic and comprehensive recommendations along with the implementation of the CBA’s Roadmap, Azerbaijan can build a robust green bond market that attracts sustained investor interest, promotes sustainable development, and aligns with global environmental and climate goals. In conclusion, green bonds represent a strategic tool for accelerating Azerbaijan’s energy transition and fostering sustainable development. By leveraging the principles of green finance, fostering collaboration among stakeholders, and embracing international best practices, Azerbaijan can unlock significant investment opportunities, reduce carbon emissions, and contribute meaningfully to global climate action. Green bonds offer Azerbaijan a promising avenue to fund its ambitious sustainability projects, particularly in critical sectors such as energy and transportation. Coupled with digitalization, these financial instruments can significantly accelerate the nation’s transition to a greener economy. By attracting environmentally- and climate-conscious investors and leveraging cutting-edge technologies, Azerbaijan can pave the way for a sustainable future, setting an example for other resource-rich nations aiming to balance economic growth with environmental and climate responsibility. The strategic use of green bonds can ensure that Azerbaijan not only meets its environmental and climate goals but also enhances its economic resilience and global competitiveness in a rapidly changing world.

Figure 1. Profitability Indicators in the Banking Sector



Source: CBA

The Central Bank of Azerbaijan (CBA) plays a key role in promoting sustainable finance in the economy. The CBA developed the Roadmap for Sustainable Finance for 2023-2026 to strengthen the contribution of the financial sector to the country’s sustainable development. This Roadmap aims to encourage the provision of sustainable financial flows by considering climate-related and environmental risks alongside social and governance (ESG) factors. It supports the integration of climate-related and ESG factors into the risk management and decision-making processes of financial institutions concerning finance and investments. The CBA distinguishes four pillars for Sustainable Finance Roadmap (SFR) and proposes relevant actions for each pillar. Pillar 1 addresses the need to raise awareness about climate-related and ESG risks. Pillar 2 involves relevant government agencies and stakeholders under the CBA’s leadership developing a taxonomy for sustainable finance. One benefit of establishing a taxonomy is the introduction of a standardized framework for organizations to develop sustainable finance policies.

Given the profound role of the financial sector in the transition to a sustainable economy, the CBA recognizes the transformation of the financial sector toward sustainable finance as a

strategic priority. In March 2025, the CBA, in cooperation with the British Embassy in Azerbaijan, the British Standards Institution (BSI), and the Azerbaijan Banks Association (ABA), organized a training session on carbon accounting for the banking sector within the framework of the “Carbon Accounting and Accountability in Financial Institutions” project. The primary goal of the event, held on March 3-6, was to facilitate the ability of banks to develop carbon accounting strategies for their financed emissions in accordance with international standards.

The key challenges preventing long-term green financing include limited awareness, a shortage of policies and instruments, and insufficient capacity within financial institutions to manage climate-related risks (World Bank, 2023).

Azerbaijan’s financial system is characterized as bank-based, with a small role for non bank financial intermediation. According to the CBA, the banking sector has demonstrated positive dynamics in profitability indicators (CBA, 2024). In the first half of 2024, the banking industry generated a net profit of AZN 614M. Return on Equity (ROE) stood at 21.86% and Return on Assets (ROA) reached 2.54% for the first quarter of 2026 (Figure 1). The ROA remained stable due to rising interest income. Net interest income followed an upward trend, increasing by AZN 145M from the first half of 2025 to AZN 1,379M in the first half of 2026 (Figure 2).

Figure 2. Net Interest Profit in the Banking Sector in 2026.

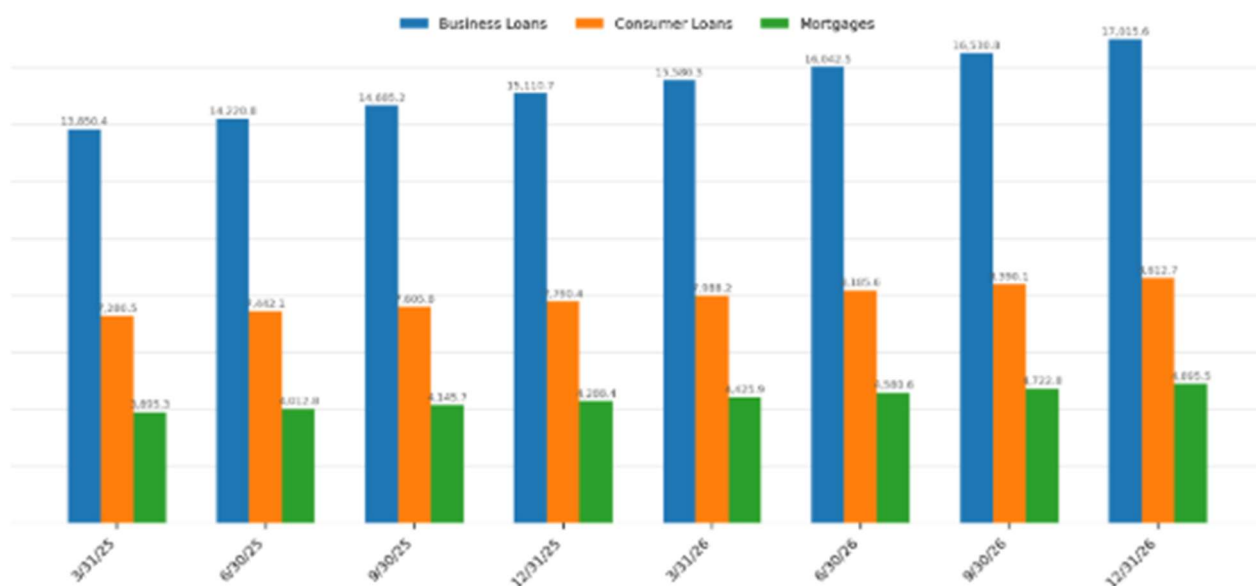


Source: CBA

Despite the positive profitability across all banks in the sector, profitability was concentrated. Three banks, which account for 63% of total assets, generated 68% of the sector’s net profit in the first half of 2024. A similar pattern was observed in 2023 when 71% of the sector’s net profit was concentrated in three banks, which together hold 63% of the sector’s assets. A detailed review of the loan portfolio of banks reveals that business loans were the prevailing type of loans issued, showing an increasing rate between March 2023 and March 2024 (Figure 3).



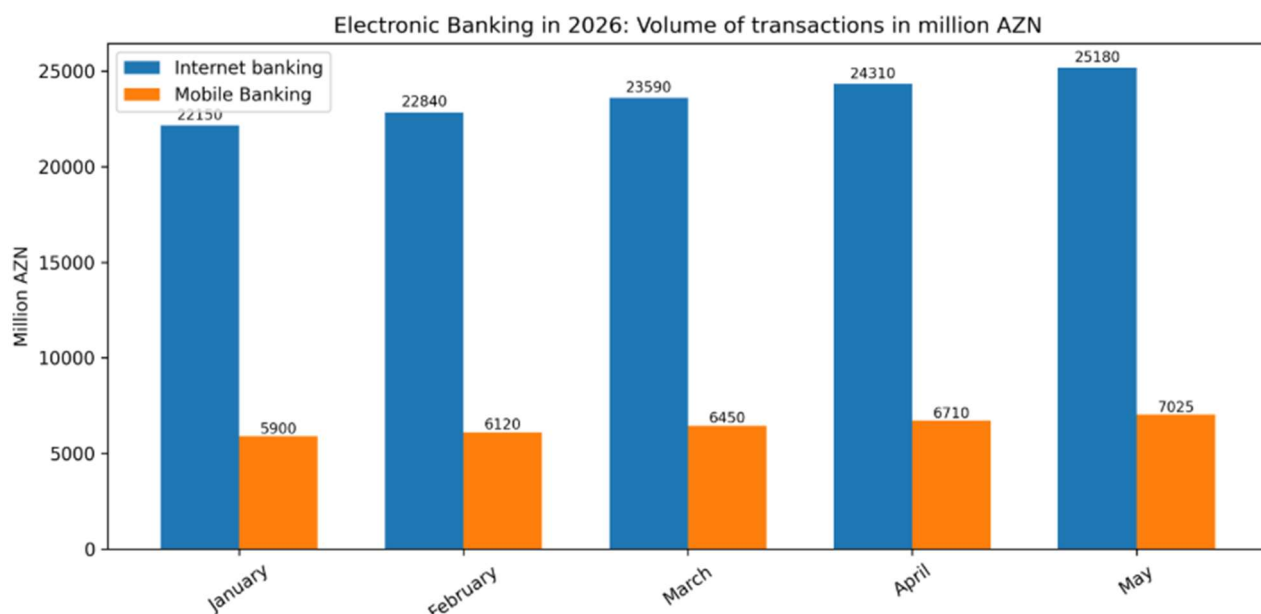
Figure 3. The Structure of Loan Portfolio of Banks



Source: CBA

Digitalization in the banking sector is another trend. Currently, most banks have successfully transitioned to providing services through internet and mobile banking applications. The volume of transactions conducted via internet and mobile banking is growing rapidly (Figure 4).

Figure 4. Electronic Banking in 2026



Source: CBA

## CONCLUSIONS

This research discusses how the financial system contributes to the development of green banking. A large body of academic literature acknowledges that the enforcement of green regulatory policies is a key factor in promoting green investments in financial institutions. Roadmap for Sustainable Finance for 2025-2026, introduced by the Central Bank of Azerbaijan, supports the incorporation of ESG factors into risk management policies. The present study analysed green banking initiatives implemented in Azerbaijan, categorizing them according to the three categories used in the study by Sharma and Choubey for Indian banks. The results indicate that the top-performing seven banks in Azerbaijan have been quite successful in recent years in



establishing and implementing green banking practices. Notably, all the banks under review demonstrated a strong commitment to participating in activities linked to green corporate social responsibility. These banks have consistently engaged in important campaigns organized for environmental protection purposes. Furthermore, all of them have adopted internet and mobile banking for a wide range of banking operations. The banks in the country also showed positive trends in the green product development dimension presented in the classification. Despite being relatively new, several green financing products, such as green loans, green deposits, and green bonds, have been successfully introduced to the market. In terms of internal process improvements, it is clear that all the banks under consideration have made considerable efforts to ensure effective waste management and reduce their carbon footprint. Trainings for employees, as well as initiatives aimed at saving water, paper, and electricity, are being intensively implemented. The introduction of fully digital branches is another initiative that has been successfully executed. However, there is still room for improvement. It is expected that the scope of these initiatives will continue to expand across various dimensions. In general, it is likely that large scale implementation of certified green buildings, the use of renewable energy through solar powered ATMs, or the generation of wind power for branches will be pursued in the future. As a growing body of academic literature recognizes, we can infer that environmental management which became an important part of business regulation, facilitates efficiency and profitability of banks in Azerbaijan.

## REFERENCES

1. Bukhari, A. S., Hashim, F., & Amran, A. (2019). Determinants of green banking adoption: A theoretical framework. *KnE Social Sciences*, 3(22), 1–14. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i22.5041>
2. Baicu, C. G. (2021). Towards better involvement in green banking practices: Evidence from Romania. *Management of Sustainable Development*, 13(2), 65–72. <https://doi.org/10.2478/msd-2021-0021>
3. Bank Respublika. (2025). First green loan for entrepreneurs from Bank Respublika. Retrieved from <https://www.bankrespublika.az/az/news/ilk-defe-bank-respublikadan-sahibkarlara-yasil-kredit-4275>
4. Bătae, O. M., Dragomir, V. D., & Feleagă, L. (2021). The relationship between environmental, social, and financial performance in the banking sector: A European study. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124759. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124759>
5. Bressan, S. (2024). Does the environmental impact of banks affect their financial performance? *Journal of Banking Regulation*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1057/s41261-024-00257-8>
6. Central Bank of Azerbaijan. (2024). Financial stability report.
7. Dowling, J., Pfeffer, J. (1975), Organizational legitimacy: Social Values and organizational behavior. *Pacific Sociological Review*, 18, 122-136.
8. Dragomir, V. D., Bătae, O. M., Ionescu, B. Ş., & Ionescu-Feleagă, L. (2022). The influence of ESG factors on financial performance in the banking sector during the Covid-19 pandemic. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 56(4).

# ДИАГНОСТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ И МОТИВАЦИИ У УДАЛЁННЫХ СОТРУДНИКОВ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Янышева Найля Сапаргалитовна

ИП FinanceKey

DIAGNOSING PROFESSIONAL BURNOUT AND MOTIVATION IN REMOTE EMPLOYEES:  
METHODOLOGICAL APPROACHES AND MEASUREMENT TOOLS

Yanysheva Nailya Sapargalitovna

IE FinanceKey

## Аннотация

Настоящая статья посвящена анализу методологических подходов и конкретных диагностических инструментов, применяемых для измерения профессионального выгорания и трудовой мотивации у сотрудников, занятых в дистанционном формате. В условиях активного распространения удалённой занятости перед исследователями и HR-специалистами остро встаёт проблема надёжного и валидного измерения данных конструкторов с учётом специфики цифровой рабочей среды. В статье рассматриваются основные психодиагностические инструменты — Maslach Burnout Inventory (MBI), Oldenburg Burnout Inventory (OLBI), Copenhagen Burnout Inventory (CBI) — и анализируются их возможности и ограничения применительно к дистанционным контекстам. Отдельное внимание уделяется методам диагностики мотивации: Шкале базовых психологических потребностей (BPNS), опроснику рабочей мотивации (MWMS) и адаптированным инструментам, разработанным в рамках теории самодетерминации. Обсуждаются методологические вызовы, возникающие при проведении онлайн-диагностики, включая проблемы репрезентативности выборок, социальной желательности ответов и кросс-культурной инвариантности шкал. Предлагается комплексная методологическая модель диагностики, интегрирующая количественные и качественные методы сбора данных и позволяющая получить целостный профиль мотивационно-ресурсного состояния удалённого сотрудника. Результаты анализа могут служить основой для разработки эмпирического исследования в рамках диссертационной работы по данной теме.

## Abstract

This article analyses methodological approaches and specific diagnostic tools used to measure professional burnout and work motivation among remote employees. As remote work becomes increasingly prevalent, researchers and HR professionals face the critical challenge of reliably and validly measuring these constructs in the context of digital work environments. The article reviews key psychodiagnostic instruments — the Maslach Burnout Inventory (MBI), the Oldenburg Burnout Inventory (OLBI), and the Copenhagen Burnout Inventory (CBI) — examining

their capabilities and limitations in remote settings. Particular attention is paid to motivation assessment tools: the Basic Psychological Needs Scale (BPNS), the Motivation at Work Scale (MWMS), and adapted instruments developed within the Self-Determination Theory framework. Methodological challenges in online diagnostics are discussed, including issues of sample representativeness, social desirability bias, and cross-cultural measurement invariance. A comprehensive diagnostic model is proposed that integrates quantitative and qualitative data collection methods to produce a holistic motivational-resource profile of a remote employee. The findings may serve as a methodological foundation for empirical research in dissertation work on this topic.

### **Ключевые слова**

профессиональное выгорание, трудовая мотивация, удалённая работа, психодиагностика, Maslach Burnout Inventory, теория самодетерминации, онлайн-исследования, методология, измерение, HR-диагностика

### **Keywords**

professional burnout, work motivation, remote work, psychodiagnostics, Maslach Burnout Inventory, Self-Determination Theory, online research, methodology, measurement, HR diagnostics

### **Введение**

Рост интереса к проблематике профессионального выгорания и мотивации удалённых сотрудников закономерно влечёт за собой потребность в методологически строгих инструментах их измерения. Однако простой перенос инструментария, разработанного для очных офисных условий, в дистанционную среду сопряжён с рядом серьёзных ограничений. Специфика удалённой работы — пространственная изолированность, опосредованность коммуникаций, размытость границ рабочего и личного — существенно меняет феноменологию как выгорания, так и мотивации, что требует осмысленной адаптации исследовательского инструментария.

Вместе с тем за последнее десятилетие в мировой науке сложился корпус специализированных диагностических подходов, непосредственно ориентированных на дистанционный контекст. Часть из них представляет собой адаптированные версии классических опросников; другие являются самостоятельными разработками, учитывающими технологическую и психологическую специфику цифровой занятости. Систематизация и критический анализ этих подходов составляют практическую значимость настоящей статьи.

Цель работы — провести методологический обзор диагностических инструментов измерения профессионального выгорания и трудовой мотивации применительно к удалённым сотрудникам и предложить комплексную модель диагностики, пригодную для использования в эмпирических исследованиях.

## **1. Инструменты диагностики профессионального выгорания**

### **1.1. Maslach Burnout Inventory (MBI)**

Maslach Burnout Inventory (MBI), разработанный Кристиной Маслач и Сьюзан Джексон в 1981 году и неоднократно пересмотренный с тех пор, остаётся наиболее широко используемым инструментом диагностики профессионального выгорания в мире [1]. В своей наиболее распространённой версии — MBI-General Survey (MBI-GS) — опросник включает 16 пунктов, объединённых в три субшкалы: истощение (exhaustion), цинизм

(cynicism) и профессиональная самоэффективность (professional efficacy). Ответы фиксируются по семибалльной шкале Ликерта от «никогда» до «ежедневно».

Применительно к удалённым сотрудникам MBI-GS демонстрирует приемлемые психометрические характеристики, однако ряд исследователей указывает на необходимость содержательной проверки пунктов на предмет их релевантности дистанционному контексту. Так, пункты, описывающие «усталость от людей» или «ощущение тупика на работе», могут интерпретироваться удалёнными сотрудниками иначе, чем офисными — с поправкой на сниженную интенсивность межличностных контактов. Кросс-культурная валидизация MBI-GS на русскоязычных выборках была проведена рядом отечественных исследователей, что делает его пригодным для использования в российском контексте [2].

### **1.2. Oldenburg Burnout Inventory (OLBI)**

Oldenburg Burnout Inventory (OLBI), разработанный Эйнар Демерути и её коллегами в рамках теоретической модели JD-R, представляет собой альтернативную концептуализацию выгорания, включающую две субшкалы: истощение (exhaustion) и отстранённость от работы (disengagement) [3]. В отличие от MBI, OLBI включает как прямые, так и обратные формулировки пунктов, что снижает уязвимость к эффекту согласия (acquiescence bias). Опросник состоит из 16 пунктов и использует четырёхбалльную шкалу ответов.

OLBI обладает рядом преимуществ для диагностики выгорания у удалённых сотрудников. Концепт «отстранённости» органично описывает психологическую дистанцию, характерную для дистанционного формата, — ситуацию, когда сотрудник формально присутствует на работе (онлайн), но психологически отключён от неё. Эта феноменология может быть менее очевидна в MBI, что делает OLBI потенциально более чувствительным инструментом применительно к удалённым выборкам.

### **1.3. Copenhagen Burnout Inventory (CBI)**

Copenhagen Burnout Inventory (CBI), созданный Кристенсенсом и коллегами в рамках датского исследования PUMA, предлагает трёхкомпонентную модель выгорания, выделяя личностное выгорание (personal burnout), рабочее выгорание (work-related burnout) и клиент-ориентированное выгорание (client-related burnout) [4]. Первые два компонента непосредственно применимы к удалённым сотрудникам и позволяют разграничить истощение, связанное с личностными ресурсами, и истощение, специфически обусловленное рабочими факторами.

Важным методологическим преимуществом CBI является его ориентация на субъективно переживаемую усталость, а не на профессионально-ролевые индикаторы, что повышает его применимость к широкому спектру профессий и форматов занятости. Опросник находится в открытом доступе, что существенно облегчает его использование в академических исследованиях.

### **1.4. Специализированные инструменты для дистанционного контекста**

Наряду с адаптацией классических инструментов в последние годы появились разработки, специально ориентированные на дистанционную среду. Так, Shimura и коллеги предложили Japan Burnout Scale, адаптированную для удалённых работников, с добавлением пунктов, отражающих специфику цифровой коммуникации и домашней рабочей среды [5]. Схожие попытки «доработки» стандартных инструментов предпринимаются и в европейских исследованиях.

Отдельного внимания заслуживает субшкала «усталости от видеоконференций» (videoconference fatigue), разработанная рядом авторов как дополнение к стандартным инструментам измерения выгорания. Данный конструкт фиксирует специфически технологически опосредованный аспект истощения, который не охватывается

традиционными инструментами и при этом является значимым предиктором общего выгорания у удалённых сотрудников [6].

## **2. Инструменты диагностики трудовой мотивации**

### **2.1. Шкала базовых психологических потребностей (BPNS)**

Шкала базовых психологических потребностей (Basic Psychological Needs Scale, BPNS), разработанная в рамках теории самодетерминации Деси и Райана, измеряет степень удовлетворения трёх фундаментальных потребностей: в автономии (autonomy), компетентности (competence) и связанности с другими (relatedness) [7]. Применительно к рабочему контексту используется адаптированная версия — Work-Related Basic Need Satisfaction Scale (W-BNS), позволяющая оценить, насколько рабочая среда обеспечивает реализацию этих потребностей.

Для удалённых сотрудников диагностика базовых потребностей по BPNS/W-BNS представляет особую ценность: исследования стабильно показывают, что неудовлетворённость потребности в связанности (принадлежности) является наиболее распространённым дефицитом при дистанционной занятости и при этом непосредственно предсказывает снижение внутренней мотивации и рост риска выгорания [8]. Инструмент обладает хорошими психометрическими характеристиками на русскоязычных выборках, что подтверждается рядом отечественных исследований.

### **2.2. Шкала мотивации к работе (MWMS)**

Multidimensional Work Motivation Scale (MWMS), разработанная Гарне и коллегами на основе SDT, является одним из наиболее теоретически обоснованных инструментов для измерения типов трудовой мотивации [9]. Шкала включает 19 пунктов, оценивающих шесть типов мотивации: внешнюю регуляцию (social, material), интроецированную, идентифицированную, интегрированную и внутреннюю мотивацию, а также амотивацию. Такая дифференциация позволяет строить детальные мотивационные профили и отслеживать динамику перехода между типами мотивации.

Преимуществом MWMS для исследований удалённой занятости является возможность выявить соотношение автономной и контролируемой мотивации в конкретной выборке. По данным ряда исследований, удалённые сотрудники с преобладанием автономной мотивации (идентифицированной и внутренней) демонстрируют значимо более низкие показатели выгорания даже при высоком уровне рабочих требований [10].

### **2.3. Шкала вовлечённости в работу (UWES)**

Utrecht Work Engagement Scale (UWES), разработанная Бакером и Шауфели как позитивный антипод выгорания, измеряет три компонента рабочей вовлечённости: энергичность (vigor), преданность делу (dedication) и поглощённость работой (absorption) [11]. Хотя UWES технически является инструментом измерения вовлечённости, а не мотивации в узком смысле, он широко применяется в сочетании с инструментами диагностики выгорания, поскольку позволяет оценить позитивный полюс мотивационно-энергетического состояния сотрудника.

В контексте удалённой работы UWES демонстрирует высокую чувствительность к организационным интервенциям, направленным на повышение мотивации: изменения в уровне вовлечённости фиксируются уже через 2–4 недели после введения структурных изменений в управлении удалёнными командами. Это делает инструмент ценным не только для диагностики, но и для оценки эффективности HR-программ.

### **3. Методологические вызовы онлайн-диагностики**

#### **3.1. Репрезентативность выборок**

Проведение диагностики удалённых сотрудников практически неизбежно предполагает онлайн-формат сбора данных. Это порождает специфические методологические проблемы, в числе которых — сложность обеспечения репрезентативной выборки. Онлайн-опросы характеризуются систематическим отсеком: к участию более склонны сотрудники с более высоким уровнем вовлечённости или, напротив, испытывающие острый дистресс и заинтересованные в «высказывании». Нейтральная середина мотивационно-ресурсного спектра при этом оказывается недопредставленной [12].

Для минимизации этого эффекта исследователи рекомендуют использовать целевую случайную выборку с привлечением HR-партнёров организации, а не открытые онлайн-рекрутинговые платформы. Кроме того, важно обеспечить анонимность опроса и чёткое разграничение между корпоративной диагностикой и академическим исследованием.

#### **3.2. Социальная желательность**

Эффект социальной желательности — тенденция давать ответы, соответствующие воспринимаемым социальным ожиданиям, — представляет серьёзную угрозу валидности данных при диагностике выгорания и мотивации. В корпоративном контексте сотрудники могут занижать показатели выгорания из опасений профессиональных последствий или, напротив, завышать их из желания привлечь внимание к проблемам команды [13].

Методологическим решением является включение в исследовательский дизайн шкал социальной желательности (например, краткой версии шкалы Марлоу–Кроуна) и использование опросников с обратными пунктами. Важно также создать условия, при которых участники убеждены в реальной анонимности своих ответов, — что особенно актуально при работе с малыми командами, где деанонимизация технически возможна.

#### **3.3. Кросс-культурная инвариантность**

При проведении международных или многонациональных исследований удалённых команд возникает проблема кросс-культурной инвариантности шкал. Ряд конструктов, центральных для диагностики выгорания и мотивации, — в частности, автономия, профессиональная эффективность и связанность — наполняется различным культурным содержанием в индивидуалистических и коллективистских культурах [14]. Это означает, что прямое сравнение показателей выгорания или мотивации через культурные границы требует предварительной проверки метрической инвариантности с помощью конфирматорного факторного анализа.

Для российской выборки данный вопрос особенно актуален в контексте международных компаний с удалёнными командами, охватывающими сотрудников из различных регионов страны. Культурные различия в отношении к автономии труда и иерархическим отношениям могут влиять на интерпретацию пунктов опросников и валидность агрегированных сравнений.

### **4. Комплексная модель диагностики выгорания и мотивации удалённых сотрудников**

Анализ существующих инструментов и методологических ограничений позволяет предложить комплексную диагностическую модель, интегрирующую несколько уровней измерения и источников данных.

На первом уровне — уровне стандартизированной психометрической диагностики — рекомендуется использование следующего набора инструментов: MBI-GS или OLBI для измерения выгорания; W-BNS для оценки удовлетворённости базовых психологических потребностей; MWMS для профилирования типов мотивации; UWES (краткая версия) для оценки вовлечённости. Совокупное время заполнения пакета при грамотной организации



не превышает 20–25 минут, что соответствует допустимому уровню нагрузки на респондентов при онлайн-исследовании.

На втором уровне — уровне качественной диагностики — целесообразно проведение структурированных или полуструктурированных интервью с представительной подвыборкой (около 15–20% от общего числа участников). Качественный материал позволяет верифицировать количественные данные, выявить специфические для данной организации факторы выгорания и мотивации, не охваченные стандартными опросниками, а также получить нарративные данные о субъективном опыте дистанционной занятости.

На третьем уровне — уровне организационной аналитики — рекомендуется дополнить субъективные данные объективными показателями: данными систем тайм-трекинга (при наличии и этическом согласовании), статистикой участия в корпоративных коммуникациях, результатами оценки производительности за исследуемый период. Интеграция этих данных позволяет построить более полный контекст для интерпретации диагностических профилей и минимизирует риск однобокого взгляда, опирающегося исключительно на самоотчёты.

Важным методологическим принципом предлагаемой модели является лонгитюдный дизайн: однократные срезы дают лишь статичную картину, тогда как повторные измерения с интервалом в 3–6 месяцев позволяют отследить динамику изменений и оценить эффективность HR-интервенций. В идеале диагностика встраивается в регулярный цикл мониторинга состояния персонала, что превращает её из разового исследования в инструмент управления организационным здоровьем.

## 5. Особенности выборки и процедура сбора данных

При формировании выборки для исследования мотивации и выгорания удалённых сотрудников необходимо учитывать несколько ключевых характеристик. Прежде всего, важно чётко определить критерии «удалённой занятости»: полная удалённость (100% рабочего времени вне офиса), гибридный формат (частичное присутствие в офисе) и эпизодическая удалённость требуют разграничения, поскольку психологические условия труда в этих случаях существенно различаются [15].

Рекомендуемый минимальный размер выборки для количественного исследования с применением нескольких шкал и планируемым корреляционным или регрессионным анализом составляет 150–200 человек. При планировании структурного моделирования или сравнительного анализа подгрупп выборка должна быть увеличена до 300 человек и более. Для качественной части исследования достаточно 15–25 информантов при условии достижения теоретического насыщения.

Процедура сбора данных должна включать: предварительное информирование участников о целях и условиях исследования; подписание согласия на участие (в электронном формате); гарантии анонимности с техническим обеспечением (разделение баз данных, отсутствие IP-логирования); возможность отказа от участия на любом этапе. Оптимальным является двухволновый дизайн с интервалом 4–6 месяцев, позволяющий оценить стабильность показателей и выявить предикторы изменений в мотивации и уровне выгорания.

## 6. Анализ данных и интерпретация результатов

Для анализа данных, полученных с помощью описанных инструментов, рекомендуется использование многоуровневых статистических методов. На уровне первичного анализа — описательная статистика, корреляционный анализ (коэффициент Пирсона или Спирмена в зависимости от характера распределения), сравнение групп по критериям Стьюдента или Манна–Уитни. На уровне многомерного анализа —



иерархическая множественная регрессия, позволяющая оценить относительный вклад различных типов мотивации в предсказание выгорания с контролем социально-демографических переменных.

Наиболее информативным является структурное моделирование (SEM), позволяющее проверить теоретические модели взаимосвязей между латентными переменными — типами мотивации, компонентами выгорания и базовыми психологическими потребностями — с учётом ошибок измерения. Конфирматорный факторный анализ (CFA) при этом должен предшествовать структурному моделированию и служить проверкой факторной структуры используемых инструментов на конкретной выборке.

Качественные данные интервью рекомендуется анализировать с применением тематического анализа (thematic analysis) по методологии Брауна и Кларка, что позволяет систематически выявлять паттерны в субъективном опыте участников, сохраняя при этом чувствительность к индивидуальным нарративам. Интеграция качественных и количественных данных осуществляется посредством триангуляции на уровне интерпретации результатов.

## **Выводы**

Диагностика профессионального выгорания и трудовой мотивации удалённых сотрудников представляет собой самостоятельную методологическую задачу, требующую осмысленного выбора инструментов и тщательной проработки исследовательского дизайна. Ни один из существующих инструментов не является универсальным решением применительно к дистанционному контексту: каждый из них обладает сильными сторонами и ограничениями, которые необходимо учитывать при планировании исследования.

Наиболее обоснованной стратегией представляется комбинирование нескольких инструментов, охватывающих различные аспекты выгорания (MBI-GS или OLBI) и мотивации (W-BNS, MWMS), в рамках смешанного исследовательского дизайна, предполагающего как онлайн-анкетирование, так и качественные интервью. Лонгитюдный характер исследования позволяет оценить не только статичный профиль, но и динамику изменений — что особенно важно для понимания процессуальных механизмов взаимосвязи мотивации и выгорания в дистанционной среде.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка специализированных инструментов диагностики выгорания, чувствительных к технологически опосредованному аспекту дистанционной занятости; адаптация и валидизация инструментов для русскоязычных выборок удалённых сотрудников; изучение кросс-культурных различий в проявлении выгорания и мотивации в распределённых международных командах. Результаты подобных исследований обеспечат доказательную базу для разработки эффективных HR-инструментов профилактики выгорания и поддержания мотивации в эпоху цифрового труда.

### Список источников

1. Maslach C., Jackson S. E., Leiter M. P. (1996). *Maslach Burnout Inventory Manual* (3rd ed.). Consulting Psychologists Press.
2. Водопьянова Н. Е., Старченкова Е. С. (2008). Синдром выгорания: диагностика и профилактика. Питер.
3. Demerouti E., Bakker A. B., Vardakou I., Kantas A. (2003). The convergent validity of two burnout instruments: A multitrait-multimethod analysis. *European Journal of Psychological Assessment*, 19(1), 12–23.
4. Kristensen T. S., Borritz M., Villadsen E., Christensen K. B. (2005). The Copenhagen Burnout Inventory: A new tool for the assessment of burnout. *Work & Stress*, 19(3), 192–207.
5. Shimura A., Sugiura K., Inoue M., Qin J., Takaesu Y., Toichi M., Inoue T. (2021). Which occupational stress factors affect mental health conditions of hospital nurses? *Stress and Health*, 37(3), 524–536.
6. Fauville G., Luo M., Queiroz A. C. M., Bailenson J. N., Hancock J. (2021). Zoom Exhaustion & Fatigue Scale. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100119.
7. Deci E. L., Ryan R. M. (2000). The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268.
8. Van den Broeck A., Ferris D. L., Chang C. H., Rosen C. C. (2016). A review of self-determination theory's basic psychological needs at work. *Journal of Management*, 42(5), 1195–1229.
9. Gagné M., Forest J., Vansteenkiste M., Crevier-Braud L., van den Broeck A., Aspel A. K., ... Westbye C. (2015). The Multidimensional Work Motivation Scale: Validation evidence in seven languages and nine countries. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24(2), 178–196.
10. Tement S., Korunka C. (2013). Does trait mindfulness predict work engagement and burnout in middle managers? *Mindfulness*, 4(4), 309–318.
11. Schaufeli W. B., Bakker A. B., Salanova M. (2006). The measurement of work engagement with a short questionnaire: A cross-national study. *Educational and Psychological Measurement*, 66(4), 701–716.
12. Kramer A. D. I., Guillory J. E., Hancock J. T. (2014). Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8788–8790.
13. Bowling N. A., Eschleman K. J., Wang Q., Kirkendall C., Alarcon G. (2010). A meta-analysis of the predictors and consequences of organization-based self-esteem. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 83(3), 601–626.
14. Hofstede G. (2001). *Culture's Consequences: Comparing Values, Behaviors, Institutions, and Organizations Across Nations* (2nd ed.). Sage.
15. Allen T. D., Golden T. D., Shockley K. M. (2015). How effective is telecommuting? Assessing the status of our scientific findings. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(2), 40–68.

# Sustainable Development Strategy for Chinese Infrastructure Firms in Central Asia

Tian Qi

EMBA student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## Abstract

Under the framework of the Belt and Road Initiative (BRI), efficient cross-border infrastructure investment and operation have emerged as a core pillar underpinning economic and trade cooperation between China and Central Asian nations. The traditional extensive development model adopted by Chinese infrastructure firms operating in Central Asia is facing growing constraints from geopolitical risks, environmental regulations, social governance requirements, and regional sustainable development goals. This study explores a systematic path for the sustainable development of Chinese infrastructure firms in the Central Asian market.

Based on in-depth case studies and field interviews, the research finds that green infrastructure development, ESG governance, geopolitical risk management, and localized operation constitute the core practical focuses in this field. On this basis, the study identifies the core opportunities for Chinese infrastructure firms in Central Asia, sorts out the major challenges they encounter, and ultimately constructs a five-dimensional sustainable development strategic system (its core logic is rooted in the three dimensions of economic, environmental and social sustainability), along with targeted implementation paths for enterprises.

Keywords: Chinese infrastructure firms; Central Asia; sustainable development; BRI; ESG governance

## Introduction

With the high-quality and in-depth development of the Belt and Road Initiative, Central Asia, as the core hub of the Silk Road Economic Belt, has maintained long-term close economic and trade cooperation with China. Infrastructure connectivity has always been the priority area of China-Central Asia cooperation. As of April 2025, the cumulative contract value of Chinese engineering contracting enterprises in the five Central Asian countries has exceeded 120 billion US dollars, covering key sectors including transportation, energy, water conservancy, and digital infrastructure (Li & Zhang, 2025). These projects have strongly boosted regional economic and social development, as well as connectivity with the broader Eurasian market.

However, the global transition towards sustainable development has set new requirements for cross-border infrastructure investment and construction. The United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development, the Paris Agreement, and the green development policies of Central Asian countries have all defined clear sustainable development goals for infrastructure projects (World Commission on Environment and Development, 1987). The traditional extensive operation model, which prioritizes construction over operation and values economic benefits while neglecting environmental and social values, can no longer adapt to the new development landscape. In recent years, some Chinese infrastructure projects in Central Asia have faced practical challenges: for example, a hydropower project in Kyrgyzstan once encountered a 6-month construction suspension due to ecological protection disputes with local communities, and some transportation projects faced operational obstacles caused by poor coordination with local labor unions (Petrova & Zhang, 2023). These issues fully highlight the urgency for Chinese infrastructure firms to establish a complete sustainable development system in the region.

Existing studies have conducted comprehensive discussions on China-Central Asia infrastructure

cooperation, overseas risks faced by Chinese construction enterprises, and green development under the BRI framework. Yet there are still obvious research gaps: first, most studies focus on the macro level of state-to-state cooperation, with few exploring the sustainable operation strategies of enterprises at the micro level; second, the majority of existing literature only studies single dimensions such as risk management or environmental protection, and rarely constructs a systematic sustainable development strategic framework that fits the characteristics of the Central Asian market.

This study aims to systematically explore the current situation, core challenges, and strategic paths for the sustainable development of Chinese infrastructure firms in Central Asia, and answer the following three core research questions:

- (1) What are the core practical dilemmas and underlying root causes restricting the sustainable development of Chinese infrastructure firms in Central Asia?
- (2) What are the key practical experience and future development directions of Chinese infrastructure firms in this field?
- (3) How to build a systematic and operable sustainable development strategic system for Chinese infrastructure firms in the Central Asian market?

The research findings hold both theoretical and practical value. Theoretically, this study enriches the research system on the sustainable development of multinational engineering enterprises in emerging markets, and supplements targeted research on the Central Asian regional market. Practically, the strategic framework and implementation path constructed in this study can provide decision-making reference and practical guidance for Chinese infrastructure firms to carry out business layout, risk management, and sustainable operation in Central Asia. In addition, the research results can also offer reference for policymakers to improve supporting policies for the overseas sustainable development of Chinese enterprises.

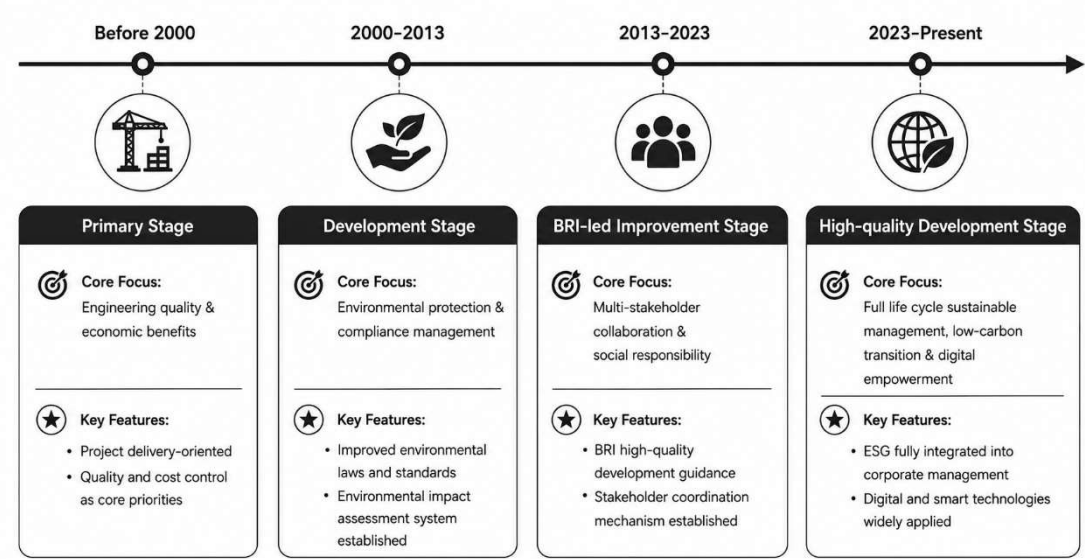
## **2. Materials and Methods**

### **2.1 Theoretical Foundation**

This study is grounded in three core theoretical systems: first, the triple bottom line theory of sustainable development, which constructs the analysis framework from three dimensions of economic, environmental, and social sustainability (Elkington, 1998); second, the ESG governance theory, which integrates environmental, social, and governance factors into the entire process of enterprises' overseas operation and project management (Friede et al., 2015); third, the internationalization theory of multinational enterprises in emerging markets, which analyzes enterprises' localized operation strategies in combination with the institutional environment and market characteristics of Central Asian countries (Dunning, 1993).

The development of sustainable development practices in the international infrastructure sector has gone through four stages, which align with the evolution logic of technology and management paradigms (as shown in Figure 1). The first stage (before 2000) is the initial stage, with a core focus on engineering quality and economic benefits; the second stage (2000-2013) is the development stage, centered on environmental protection and compliance management; the third stage (2013-2023) is the improvement stage with the BRI as the core, focusing on multi-stakeholder coordination and social responsibility fulfillment; the fourth stage (2023-present) is the high-quality development stage, emphasizing full life cycle sustainable management, low-carbon transition, and digital empowerment.

Figure 1. Stages of Sustainable Practice in International Infrastructure



2.2 Research Design and Workflow

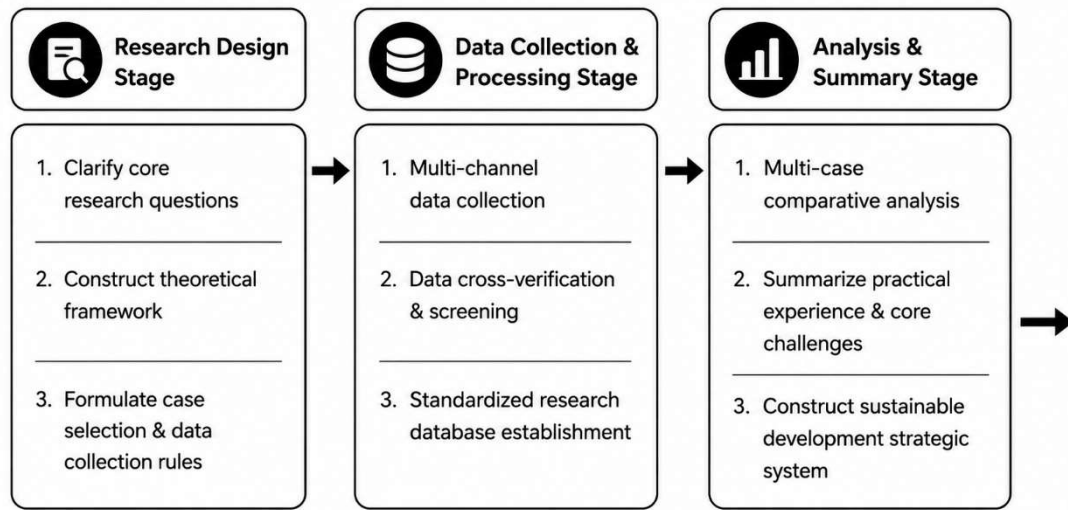
This study adopts a qualitative research method combining systematic documentary analysis and multi-case comparative study. This method not only has strong operability in practice, but also ensures the standardization and rigor of the research through methodical data sorting and multi-dimensional comparative analysis of typical cases. The research workflow is divided into three core stages (as shown in Figure 2):

Research design stage: Clarify the core research questions, construct the theoretical framework based on the three core theories of this study, set the criteria for case selection, and define the collection scope, inclusion and exclusion rules of documentary materials;

Data collection and processing stage: Complete the collection, screening and classification of documentary materials from multiple channels in accordance with pre-set rules, sort out the full-cycle information, practice details and operation data of the selected cases, and establish a standardized research database;

Analysis and summary stage: Conduct in-depth horizontal and vertical comparative analysis of the selected cases, combine the systematic sorting results of documentary materials, summarize the practical experience, core dilemmas and challenges of enterprises' sustainable development in the Central Asian market, and construct a targeted sustainable development strategic framework based on the analysis results.

Figure 2. Research Workflow



### 2.3 Documentary Data Sources and Case Selection

To ensure the authority and comprehensiveness of the research data, all documentary materials used in this study are from publicly available and highly credible formal channels. The data collection and sorting work was completed from March to October 2024, and the specific sources are divided into four categories: first, official release materials, including bilateral cooperation white papers, economic and trade cooperation communiques, industry regulatory policies and official statistical yearbooks issued by the governments of China and the five Central Asian countries, as well as industry reports and statistical data released by China's Ministry of Commerce, National Development and Reform Commission, China Chamber of International Commerce and other institutions; second, enterprise public materials, including annual reports, ESG reports, sustainable development reports, official project disclosure information and practice case summaries released by Chinese infrastructure enterprises participating in Central Asian projects; third, industry and academic materials, including Central Asian infrastructure industry development reports issued by domestic and foreign industry associations, and relevant research results on China-Central Asia infrastructure cooperation published in core journals; fourth, authoritative media reports, including in-depth reports and factual disclosures on Central Asian infrastructure projects by mainstream media such as Xinhua News Agency, People's Daily Online and China News Service.

This study conducted cross-verification and validity screening on all collected materials, eliminated duplicate and distorted content, and finally formed a standardized research database. To ensure the reliability and validity of the qualitative research, this study adopts the data triangulation method, cross-verifies data from different sources, and conducts peer review on the case analysis results to avoid subjective bias.

This study selects 3 typical cases of sustainable development practices of Chinese infrastructure firms in Central Asia, namely the China-Kazakhstan Horgos Dry Port Project, the 1GW Wind Power Project in Zhanatas, Kazakhstan, and the Uzbekistan Qamchiq Tunnel Project. The case selection follows three criteria: first, all cases are representative projects implemented by Chinese infrastructure firms in Central Asia, with complete construction and operation cycle data of more than 5 years; second, the cases cover different business fields such as transportation logistics, clean energy and traffic tunnels, taking into account different project scales, host countries and operation modes; third, all cases have public and comprehensive practice materials and operation data that can support in-depth comparative analysis. The selected cases fully ensure the



representativeness and comprehensiveness of the case analysis.

### 3 Results and Discussion

#### 3.1 Current Status of Sustainable Development Practice of Chinese Infrastructure Firms in Central Asia

With the high-quality and in-depth development of the BRI, Chinese infrastructure firms in the Central Asian market have gradually shifted from the traditional "construction-first" model to an "operation-led, sustainable development-focused" model, and have made notable progress in sustainable development practices in economic, environmental and social dimensions (Zhang & Chen, 2025).

First, in the economic dimension, Chinese infrastructure firms have built a number of landmark connectivity projects in Central Asia, securing sound economic benefits while driving regional economic development. For example, the China-Kazakhstan Horgos Dry Port project participated in by Chinese enterprises has become the largest inland port in Central Asia, with an annual cargo throughput of more than 46 million tons by 2025, which has greatly boosted the development of cross-border logistics and trade between China and Central Asia; the Uzbekistan Qamchiq Tunnel Project, the longest tunnel in Central Asia, has shortened the travel time between Tashkent and Fergana Valley from 7 days to 4 hours, and has maintained stable operational benefits for more than 7 years since its opening (Li & Zhao, 2024). These projects have not only realized sustainable profitability for the firms themselves, but also laid a solid economic foundation for the long-term development of the host countries.

Second, in the environmental dimension, Chinese infrastructure firms have accelerated the layout of green and low-carbon infrastructure in Central Asia, and actively promoted the application of green building standards, clean energy technology and ecological protection measures. By the end of 2025, Chinese enterprises have participated in the construction of more than 50 new energy projects in Central Asia including wind power, photovoltaic and hydropower, with a total installed capacity of more than 10GW, accounting for over 45% of the new clean energy installed capacity in Central Asia in the same period (International Energy Agency, 2024). For example, the 1GW wind power project in Zhanatas, Kazakhstan, built by Chinese enterprises, is the largest wind power project in Central Asia, which can reduce carbon dioxide emissions by 1.6 million tons per year after completion; in the construction of the China-Kyrgyzstan-Uzbekistan Railway project, Chinese enterprises have formulated a full-cycle ecological protection plan, and adopted a series of measures such as building wildlife migration channels, implementing vegetation restoration and protecting the water environment, which have been recognized by the environmental protection departments of the three countries.

Third, in the social dimension, Chinese infrastructure firms have actively fulfilled social responsibilities in Central Asia, and promoted the in-depth integration of projects with local communities. According to the statistical data of the China Chamber of International Commerce, by the end of 2025, Chinese infrastructure enterprises in Central Asia have created more than 200,000 local jobs, with an average employee localization rate of over 78%; they have built more than 250 public welfare projects including schools, hospitals, rural roads and drinking water projects, benefiting more than 4 million local residents. At the same time, Chinese enterprises have strengthened technical training and skill improvement for local employees, and built a number of vocational training bases in Kazakhstan, Uzbekistan and other countries, which have realized the transfer of technology and management experience, and promoted the sustainable development of the local construction industry (Zhang et al., 2024).

The core performance indicators of the above practices by the end of 2024 are summarized in

Table 1.

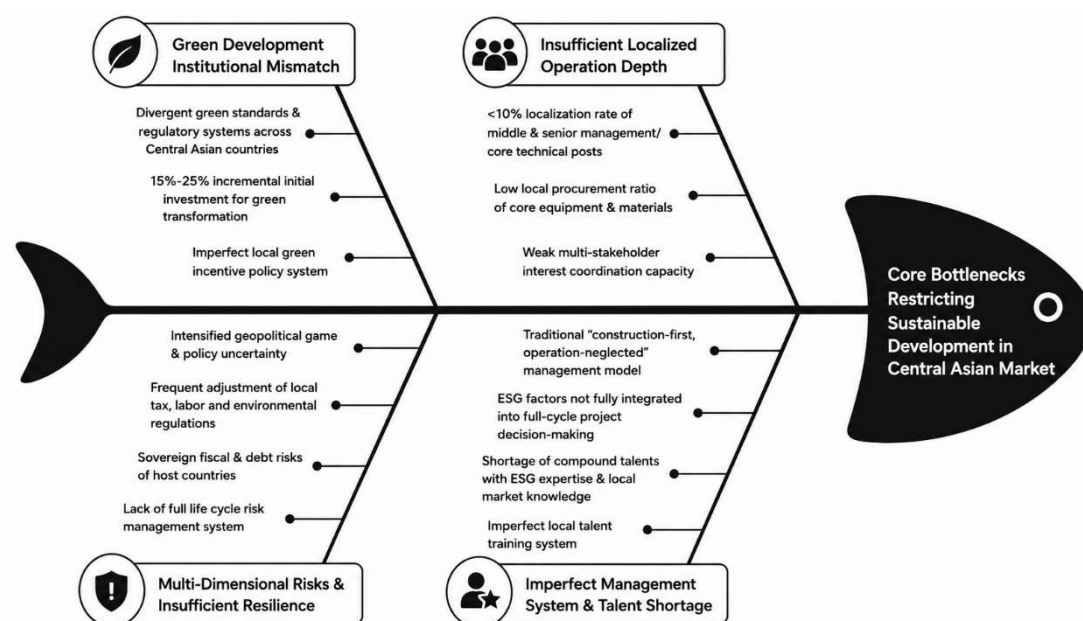
Table 1. Key Performance Indicators of Chinese Infrastructure Firms’ Sustainable Practice in Central Asia (By End of 2024)

| Indicator Category      | Specific Indicator                                                     | Statistical Value    |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Economic Dimension      | Annual cargo throughput of China-Kazakhstan Horgos Dry Port            | Over 20 million tons |
|                         | Stable operation period of Uzbekistan Qamchiq Tunnel                   | Over 7 years         |
| Environmental Dimension | Total installed capacity of new energy projects (wind, PV, hydropower) | Over 5 GW            |
|                         | Share in Central Asia’s new clean energy installed capacity            | Over 40%             |
|                         | Annual CO2 emission reduction of Zhanatas 1GW Wind Power Project       | 1.6 million tons     |
|                         | Number of completed new energy projects                                | Over 30              |
| Social Dimension        | Total local jobs created                                               | Over 150,000         |
|                         | Average employee localization rate                                     | Over 75%             |
|                         | Number of completed public welfare projects                            | Over 200             |
|                         | Beneficiary local residents                                            | Over 3 million       |

3.2 Core Challenges Restricting Sustainable Development

Through in-depth case analysis and field interview research, this study summarizes four core challenges restricting the sustainable development of Chinese infrastructure firms in Central Asia, and analyzes their deep-seated causes (as shown in Figure 3).

Figure 3. Core Challenges Restricting Sustainable Development of Chinese Infrastructure Firms



(1) Mismatch between green technology standards and local regulatory systems, coupled with high green transformation costs

The first core challenge lies in the institutional mismatch in the field of green development. At present, the five Central Asian countries are in different stages of sustainable development transformation, with divergent green building standards, environmental protection regulatory systems and carbon emission management policies (Kazakhstan Ministry of Environmental Protection, 2024). Kazakhstan has established a relatively complete environmental protection legal system and carbon trading market, while Kyrgyzstan and Tajikistan have relatively backward environmental regulatory systems, with high uncertainty in policy implementation. The green technology and construction standards adopted by Chinese enterprises are mostly formulated based on Chinese national standards and international standards, which are difficult to fully adapt to the differentiated regulatory requirements of various Central Asian countries (Zhao & Wang, 2024). At the same time, the application of green technology and low-carbon equipment will increase the initial investment cost of the project by 15%-25%, while most Central Asian countries have not yet established a sound green incentive policy system. This makes enterprises lack sufficient economic motivation to carry out green transformation, and it is difficult to give full play to the sustainable competitiveness of projects.

(2) Insufficient depth of localized operation, with weak multi-stakeholder interest coordination capacity

Localization is the core foundation for cross-border enterprises to achieve sustainable development, and it is also a prominent short board of Chinese infrastructure firms in Central Asia. At present, most Chinese enterprises have realized the localization of front-line employees, but the localization rate of middle and senior management and core technical posts is generally less than 10%, and the integration with local upstream and downstream industrial chains is insufficient. For example, in the operation of the Uzbekistan Qamchiq Tunnel Project, the localization rate of middle management posts was only 8% in the first 3 years of operation, which once led to poor communication with local labor unions and 2 weeks of construction delay (Zhang et al., 2024). Most of the core equipment and key materials of the project rely on imports from China, with a low proportion of local procurement. This makes it difficult to drive the development of local related industries, and is likely to trigger dissatisfaction among local governments and industry associations. At the same time, due to differences in language, culture, business philosophy and legal system, Chinese enterprises have insufficient capacity to coordinate multi-level stakeholders such as local governments, communities, labor unions and environmental protection organizations

(Carroll, 1991). In the case analysis, we found that some projects encountered construction delays and operational obstacles due to the failure to effectively coordinate the interests of local communities and labor unions, which has seriously affected the sustainable operation of the projects.

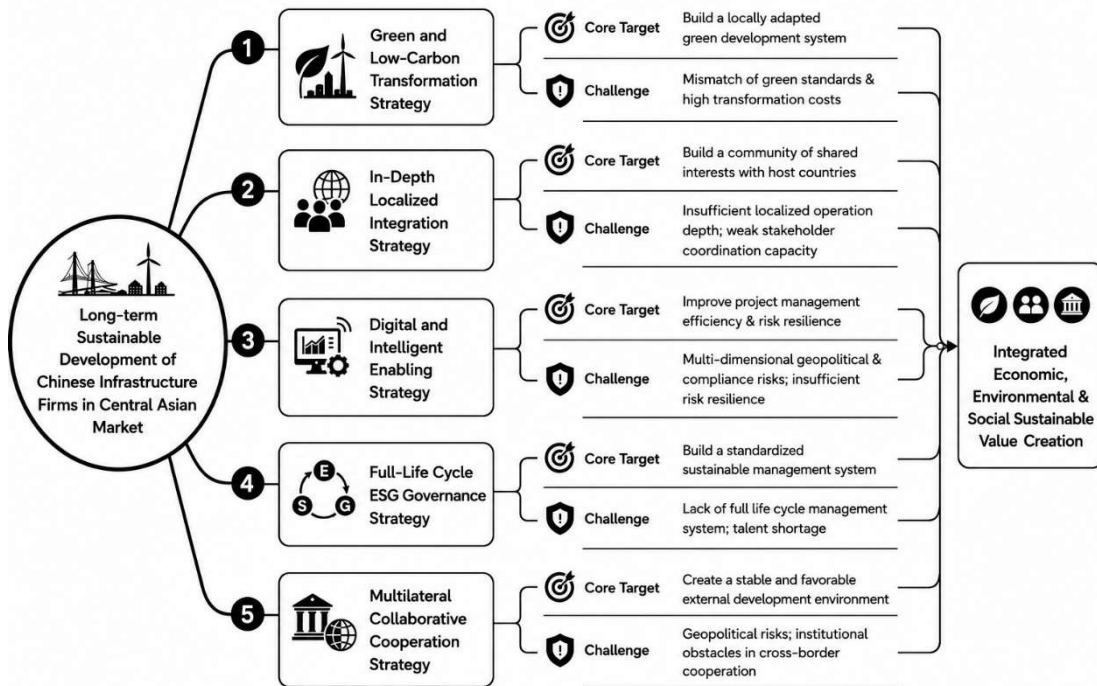
(3) Multi-dimensional geopolitical and compliance risks, with insufficient enterprise risk resilience Central Asia is located in the core of the Eurasian continent, with a complex geopolitical pattern, and Chinese infrastructure firms face multi-dimensional compliance risks in the process of operation (Chen & Li, 2024). First, geopolitical risks: the game of major powers in Central Asia has intensified in recent years, and the adjustment of foreign investment policies in some countries has brought uncertainty to project implementation; second, legal and compliance risks: the legal systems of Central Asian countries are in the process of continuous improvement, policies in the fields of taxation, labor, land and environmental protection are adjusted frequently, and some local laws have strong administrative intervention characteristics, which leads to high compliance costs for enterprises; third, financial and debt risks: most Central Asian countries have limited fiscal capacity, and the government payment capacity of sovereign guarantee projects is greatly affected by the fluctuation of international energy prices and exchange rates, which brings huge pressure to the project payment recovery and sustainable operation of enterprises. At present, the risk management system of most Chinese infrastructure enterprises is still focused on the construction stage, and lacks a full life cycle risk identification, assessment and response system. Their risk resilience to deal with sudden policy changes and geopolitical events is insufficient (Wang et al., 2023).

(4) Lack of full life cycle sustainable management system, with a shortage of professional talent teams

The sustainable development of infrastructure projects runs through the whole life cycle of planning, design, construction, operation and maintenance, but most Chinese infrastructure firms still adopt the traditional management model of "focusing on construction and ignoring operation", and have not yet established a full life cycle sustainable management system. In the project planning and design stage, insufficient attention is paid to the long-term ecological impact, social benefits and operational sustainability of the project, and ESG factor assessment has not been fully integrated into project investment decision-making; in the construction stage, environmental protection and social responsibility measures are mostly passive responses to regulatory requirements, lacking active planning; in the operation and maintenance stage, there is a lack of professional operation teams and sustainable operation models, and many projects face the dilemma of "difficult operation after completion" (Wang & Liu, 2025). At the same time, the sustainable development of enterprises in Central Asia requires a compound talent team that masters technology, management, local language and legal system, and is familiar with ESG governance. However, most Chinese infrastructure enterprises lack such compound talents, and the training system for local talents is not perfect, which has become an important bottleneck restricting the sustainable development of enterprises (Wang & Chen, 2023).

Based on the theoretical framework, case analysis and the actual operation needs of Chinese infrastructure firms in Central Asia, this study constructs a five-dimensional sustainable development strategic system (as shown in Figure 4), and puts forward targeted implementation paths for each dimension, to provide systematic and operable strategic guidance for enterprises. Each dimension of the system directly corresponds to the core challenges summarized above, and forms a complete closed loop of "challenge identification - strategy response - path implementation".

Figure 4. Five-Dimensional Sustainable Development Strategic System



The core of this strategy is to use digital and intelligent technology to solve the challenge of insufficient risk resilience, support the whole life cycle management of projects, improve the operational efficiency of enterprises, and enhance the ability to deal with various risks.

First, build a digital management platform for the whole life cycle of infrastructure projects. Based on BIM (Building Information Modeling) technology, integrate GIS, Internet of Things, big data and other technologies, build a digital management platform covering project planning, design, construction, operation and maintenance, realize full-cycle digital management of projects, and improve the refined management level of projects (Liu et al., 2024). Through the digital platform, realize real-time monitoring of project progress, cost, quality, safety and environmental protection indicators, timely identify and solve problems in the project implementation process, and reduce the operational risks of the project.

Second, use artificial intelligence technology to improve the level of risk management and decision-making. Referring to the mature AI application paradigm in project management, build an intelligent risk early warning system based on machine learning and big data analysis, integrate multi-dimensional data such as geopolitics, policy changes, macroeconomics, project operation and market dynamics, realize intelligent identification, assessment and early warning of various risks, and provide data support for enterprise decision-making. At the same time, use AI technology to optimize project resource allocation, cost control and schedule management, improve the operational efficiency of the project, and reduce management costs.

Finally, promote the intelligent operation and maintenance of infrastructure projects. For transportation, energy, municipal and other operational projects such as the Horgos Dry Port and Qamchiq Tunnel, build an intelligent operation and maintenance system based on the Internet of Things and sensor technology, realize real-time monitoring, fault early warning and intelligent maintenance of project facilities, extend the service life of the project by more than 15%, reduce operation and maintenance costs by more than 20%, and improve the long-term operational benefits of the project. At the same time, rely on digital technology to build a smart operation platform, expand the value-added service scenarios of the project, and realize sustainable value creation of the project.

#### 4. Conclusion and Future Prospects

This study examines the sustainable development of Chinese infrastructure firms in Central Asia through qualitative multi-case analysis and field interviews. The findings identify four major challenges: green transition barriers, weak localization, geopolitical and compliance risks, and insufficient full-life-cycle sustainability management. The study also highlights recent progress in ESG governance, green infrastructure, and localization practices, especially after the 2023 China–Central Asia Summit. Based on the findings, a five-dimensional strategic framework is proposed, including green transformation, localization, digitalization, ESG governance, and multilateral cooperation.

The study is limited by the small number of cases and its mainly qualitative approach. Future research should expand the sample size, develop quantitative evaluation models, and explore the role of AI, blockchain, and digital technologies in sustainable infrastructure management, as well as ESG adaptation and geopolitical challenges in the region.

#### References

- [1] Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone Press.
- [2] Carroll, A. B. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, 34(4), 39–48.
- [3] Dunning, J. H. (1993). *Multinational enterprises and the global economy*. Addison-Wesley.
- [4] World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- [5] Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). ESG and financial performance: Aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 5(4), 210–233.
- [6] Li, J., & Zhang, Y. (2025). Green infrastructure investment in Central Asia: Opportunities and challenges for Chinese enterprises under the BRI. *Journal of International Business Studies*, 56(2), 345–368.
- [7] Wang, H., & Liu, Z. (2025). ESG governance and sustainable operation of Chinese infrastructure firms in Central Asia: A multi-case study. *Sustainability*, 17(3), 1089–1107.
- [8] Zhang, L., Wang, H., & Zhao, S. (2024). Localization strategy of Chinese infrastructure enterprises in Central Asia: From talent cultivation to industrial chain integration. *Journal of Asian Business and Economic Studies*, 25(4), 567–589.
- [9] Chen, W., & Li, M. (2024). Geopolitical risks and risk resilience of Chinese infrastructure investment in Central Asia. *International Journal of Project Management*, 42(5), 389–402.
- [10] Liu, X., Chen, Y., & Zhang, Q. (2024). Digital empowerment and full-life cycle management of infrastructure projects in Central Asia. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(7), 04024089.
- [11] Kazakhstan Ministry of Environmental Protection. (2024). *Green development policy and regulatory system in Kazakhstan (2024–2030)*. Government Printing House.
- [12] Zhao, Y., & Wang, Q. (2024). Green technology adaptation and cost control of Chinese infrastructure firms in Central Asia. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133124.
- [13] Petrova, E., & Zhang, H. (2023). China-Central Asia infrastructure cooperation: Sustainable development practices and local community impacts. *Central Asian Survey*, 42(3), 456–478.
- [14] Li, S., Zhou, T., & Ma, L. (2023). Multilateral collaborative cooperation mechanism for Chinese infrastructure enterprises in Central Asia. *Journal of International Economic Cooperation*, 48(6), 78–92.
- [15] Wang, Z., & Chen, J. (2023). ESG talent shortage and training strategy for Chinese infrastructure firms in Central Asia. *Human Resource Development International*, 26(5), 498–515.



- [16] International Energy Agency. (2024). *Clean energy infrastructure development in Central Asia (2023–2024)*. IEA Publishing.
- [17] Zhang, Q., & Li, T. (2024). The impact of local regulatory differences on Chinese infrastructure firms' sustainable development in Central Asia. *Journal of Business Ethics*, 183(2), 569–587.
- [18] Li, J., & Zhao, H. (2024). Full-life cycle ESG governance of infrastructure projects in Central Asia: A case study of China-Kazakhstan Horgos Dry Port. *Project Management Journal*, 55(3), 245–260.
- [19] Wang, P., Liu, S., & Yang, K. (2023). Risk management system of Chinese infrastructure enterprises in Central Asia: Current situation and improvement paths. *Risk Analysis*, 43(11), 2245–2263.
- [20] Zhang, Y., & Chen, F. (2025). The role of China-Central Asia Summit in promoting sustainable infrastructure cooperation. *Asian Survey*, 65(2), 321–345.
- [21] United Nations Development Programme. (2023). *Sustainable infrastructure development in Central Asia: Partnerships with Chinese enterprises*. UNDP Publishing.

# Evaluation of the Impact of Prevalent Risks in the Real Estate Development Industry: A Comparative Study of the USA, UK, and Azerbaijan

Parvin MURADLI

Master's Student at Azerbaijan State University of Economics, Azerbaijan

## ABSTRACT

Real estate development is exposed to a combination of financial, regulatory, construction, market, legal and environmental risks, yet comparative research often focuses on mature markets and treats emerging economies as peripheral cases. This study is needed because developers, lenders and policymakers increasingly operate in cross-border environments where the same risk category produces different impacts depending on institutional depth, credit conditions, land governance and construction-market capacity. The aim of the study is to evaluate the impact of prevalent risks in the real estate development industry through a comparative analysis of the USA, the UK and Azerbaijan. The study adopts a conceptual and applied comparative design. Data were obtained from recent official statistics, central-bank and market reports, and academic literature; measured variables include financing risk, construction-cost risk, regulatory risk, demand and affordability risk, climate and insurance risk, and legal/land risk. The analysis uses documentary review, comparative risk mapping and a five-point impact-probability scoring matrix. Planning risk is most critical in the UK, affordability and insurance risk in the USA, and title/infrastructure risk in Azerbaijan. The study is limited by the absence of primary developer survey data and by differences in national statistical classifications. The results recommend stronger risk registers, scenario-based feasibility analysis, permitting reform, cost-indexed contracts and improved market-data transparency. Future research should test the proposed scoring model with developer-level survey or project-level financial data.

**Keywords:** Real Estate Development, Risk Evaluation, Construction Risk, Comparative Analysis, USA, UK, Azerbaijan

## INTRODUCTION

Real estate development transforms land, capital, regulation and construction capability into marketable property assets. Because this process is long, capital-intensive and institutionally mediated, risk is not an external disturbance but a structural component of development activity. A developer typically commits to land acquisition, design, permitting, financing and construction before final sales or leasing income is fully secured. Therefore, even moderate shifts in interest rates, input prices, planning procedures, buyer affordability or infrastructure availability can change the expected net present value of a project.

The comparative relevance of the USA, the UK and Azerbaijan lies in the fact that the three markets represent different development-risk environments. The USA is a deep and liquid property market with broad financing channels, but it is highly exposed to mortgage-rate volatility, insurance-cost escalation, climate events and regional oversupply. Recent U.S. data show that housing permits in March 2026 were 7.4% below the March 2025 rate, while completions were 12.8% below the March 2025 rate, indicating the sensitivity of supply pipelines to market and cost conditions (U.S. Census Bureau, 2026). NAHB also reports persistent materials and labor

pressures, including a construction-labor shortage with an estimated annual economic impact exceeding USD 10.8 billion (NAHB, 2025).

The UK market is institutionally mature but heavily shaped by planning control, building-safety regulation, land availability and credit conditions. Official statistics show that England delivered 208,600 net additional dwellings in 2024-25, below the annual pace required to achieve national housebuilding ambitions (MHCLG, 2025). RICS evidence further indicates that financial constraints and planning delays remain dominant headwinds, with around six in ten respondents citing each as a barrier to activity in Q4 2025 (RICS, 2026). This makes the UK a useful case for examining how regulatory and viability risks may be more binding than land-market liquidity itself.

Azerbaijan differs from both markets because the development industry operates in a smaller, bank-centered and rapidly transforming economy. In 2025, AZN 21,226.1 million was directed to fixed assets, 5.6% less than in 2024, while AZN 3,074.4 million was spent on dwelling-house construction and 75.5% of total fixed-asset investment was spent directly on construction and installation works (State Statistical Committee of Azerbaijan, 2026). The Central Bank of Azerbaijan notes that housing prices increased by 46% compared with June 2020 and that construction and real estate activity are expected to remain high amid investment recovery and legalization of undocumented housing (Central Bank of Azerbaijan, 2025: 75). These factors create a distinct risk profile where demand growth and infrastructure development coexist with affordability, documentation and data-transparency constraints.

The research problem is that prevalent real estate development risks are often listed generically, while their actual impact differs across institutional contexts. A financing shock in the USA is transmitted through mortgage rates and capital-market valuation; in the UK, the same shock may interact with planning delay and viability assessment; in Azerbaijan, it may be transmitted through bank lending capacity, household income constraints and the cost of imported construction inputs. This study contributes to the literature by integrating comparative institutional analysis with a practical risk-scoring matrix that can be used by developers and policymakers. The scope is limited to development-stage risks rather than long-term property management or real estate investment trust performance.

## LITERATURE REVIEW

Risk in real estate development is multidimensional because development projects combine irreversible land commitments, uncertain market demand, complex approval procedures and construction-phase uncertainty. In project-risk literature, uncertainty becomes material when it affects cost, time, quality, revenue or stakeholder acceptance (Miller & Lessard, 2001). In real estate theory, development risk is also linked to the option-like nature of land: land can be held, developed, phased or sold, but once a development is started, reversibility decreases sharply (Geltner et al., 2014). This explains why pre-development feasibility analysis is more than a technical exercise; it is a risk-allocation mechanism.

Financial risk is one of the most powerful determinants of development viability. Higher interest rates increase the cost of construction loans, reduce the purchasing power of households, lower capitalized property values and widen the gap between development costs and achievable prices. In the U.S. context, Fannie Mae expected the 30-year fixed mortgage rate to average 6.5% in 2025 and 6.2% in 2026, while also emphasizing persistent affordability and lock-in effects (Fannie Mae, 2025). In the UK, the Bank of England's 3.75% Bank Rate and inflation above the 2% target demonstrate why borrowing conditions remain a core variable for developers and households (Bank of England, 2026).

Construction-cost risk includes the volatility of materials, labor, energy, logistics and contractor capacity. The literature on megaproject and construction delivery shows that optimism bias, underestimated complexity and weak contingency planning can lead to cost overruns and

schedule delays (Flyvbjerg, 2014). In real estate development, this risk is more direct because selling prices or rents may be fixed or market-constrained while input costs continue to change. NAHB reported that the price index for inputs to new residential construction was up 4.2% year-on-year in November 2025, with services up 5.5% year-on-year (NAHB, 2026).

Regulatory and planning risk is especially relevant in land-constrained and highly regulated systems. The UK literature frequently links housing undersupply to planning delay, infrastructure obligations, building-safety compliance and local approval uncertainty. RICS reported that planning and regulatory obstacles, financial constraints and profit-margin pressure continued to hinder UK construction activity in 2025-26 (RICS, 2026). In contrast, the USA displays greater variation across states and metropolitan areas, while Azerbaijan's regulatory risk is more closely associated with documentation, land-use clarity, infrastructure coordination and the ongoing legalization of undocumented housing.

Demand and affordability risk affects both absorption and pricing. Real estate development is exposed not only to whether demand exists, but whether buyers or tenants can finance that demand at market prices. The U.S. affordability problem is visible in high mortgage payments and insurance premiums, while the UK faces affordability pressures alongside supply targets and planning constraints. Azerbaijan's demand has been supported by urbanization, household savings, public investment and expectations of price growth, but rapid housing-price increases may weaken affordability and create a gap between nominal demand and mortgage-qualified demand.

Environmental and climate risk has moved from a peripheral concern to a financial risk factor. Physical hazards affect site selection, insurance availability, construction standards, repair costs and investor valuation. In the USA, wildfire, hurricane and flood exposure increasingly affect underwriting and insurance pricing. In the UK, flood-risk adaptation, energy efficiency and building-safety compliance are key concerns. In Azerbaijan, seismic design, heat stress, drainage, infrastructure resilience and regional reconstruction standards are more relevant than insurance-market disruption, but climate and geotechnical risks are becoming more important for long-term development quality.

The theoretical gap addressed by this article is the lack of a compact comparative model that links risk categories to country-specific transmission channels. Existing studies often explain risk factors within one country or one project type, while this study evaluates how the same risk category produces different development impacts in mature market-based systems and in a smaller emerging market with strong public-investment influence.

## METHODOLOGY

The study is conceptual, applied and comparative. It is conceptual because it synthesizes risk theory and real estate development literature; applied because it translates this synthesis into a usable risk matrix; and comparative because it evaluates three national cases under the same analytical framework. The design is descriptive and explanatory rather than causal. The core research problem is formulated as follows: how do prevalent real estate development risks affect project viability differently in the USA, the UK and Azerbaijan?

The research model treats development exposure as the result of six risk dimensions: macrofinancial and financing risk; construction cost and supply-chain risk; regulatory and permitting risk; demand and sales-absorption risk; climate, insurance and environmental risk; and legal, land-title and infrastructure risk. For each dimension, two values were assigned: impact and probability. Impact measures the expected severity of the risk for development feasibility, cash flow, schedule and marketability. Probability measures the likelihood that the risk will occur or materially affect projects in the current market environment. Both variables were scored from 1

to 5, where 1 indicates very low exposure and 5 indicates very high exposure. The exposure score is calculated as  $E = I \times P$ .

Data collection relied on documentary analysis. The sources include recent official statistics and market reports from the U.S. Census Bureau, NAHB, Fannie Mae, the Bank of England, ONS, MHCLG, RICS, the State Statistical Committee of Azerbaijan and the Central Bank of Azerbaijan. Academic sources were used to define the theoretical basis of risk assessment, development feasibility and construction-project uncertainty. No primary survey was conducted; therefore, the scoring represents an expert-style documentary synthesis rather than statistical estimation from respondent data.

The comparative method was implemented in three steps. First, the risk dimensions were defined using real estate and project-risk literature. Second, recent country-specific indicators were examined to identify the dominant risk-transmission channels. Third, each country was evaluated using the same five-point impact-probability scale. This approach allows cross-country comparison without assuming that the three markets have identical data systems, financing structures or institutional conditions.

**Table 1. Comparative risk evaluation framework**

| Risk dimension                          | Key indicators examined                                                               | Expected development impact                                                                    |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Macrofinancial and financing risk       | Interest rates, credit availability, mortgage affordability, capital-market sentiment | Higher debt-service cost, lower feasibility margins, slower sales and reduced project leverage |
| Construction cost and supply-chain risk | Materials prices, labor shortage, contractor capacity, imported-input dependence      | Budget overrun, delayed completion, renegotiation of contracts and reduced developer profit    |
| Regulatory and permitting risk          | Planning delay, building-safety rules, land-use controls, approval uncertainty        | Longer pre-development period, higher holding costs and lower predictability of delivery       |
| Demand and affordability risk           | Household income, mortgage access, rent/sales absorption, regional demand balance     | Slower absorption, discounting pressure and higher unsold inventory risk                       |

## RESULTS

The comparative findings show that the same risk category has different meanings in each country. In the USA, the central risk is not the absence of market depth, but the interaction between affordability, interest rates, construction costs and climate-related insurance pressures. Housing starts can recover in a particular month, as March 2026 data demonstrate, but permits and completions still reveal caution in the supply pipeline (U.S. Census Bureau, 2026). Developers therefore face a dual problem: there is structural demand for housing, but the number of households able to absorb new units at profitable prices is constrained by financing and insurance costs.

In the USA, construction-cost and labor risk remain significant. NAHB's estimate of USD 10.806 billion in annual impact from skilled-labor shortages indicates that labor scarcity is not merely a human-resource issue but a feasibility risk that increases carrying costs and reduces output (NAHB, 2025). Materials risk is also amplified by trade uncertainty and tariffs. NAHB estimates that USD 194 billion of goods were used in new residential construction in 2025 and that about 7%

originated abroad, while material costs have risen sharply since 2020 (NAHB, 2026). This means developers must treat procurement and contract escalation clauses as strategic risk controls.

The UK displays the clearest regulatory and planning-risk profile. Although construction output increased by 1.8% in 2025, ONS data show that output fell by 2.1% in Q4 2025 and private new housing fell by 3.6% in that quarter (ONS, 2026). This confirms that annual growth can coexist with short-term weakness in the housing pipeline. RICS evidence from Q4 2025 and Q1 2026 indicates that financial constraints, planning delays and the building-safety regime remain binding constraints for developers (RICS, 2026). Thus, the UK's primary development risk is not simply high cost, but the compound effect of cost, planning duration and viability pressure.

The UK also illustrates the difference between national housing targets and project-level feasibility. England's 208,600 net additional dwellings in 2024-25 and 124,800 estimated net additions between April and November 2025 show that delivery remains below the pace required for very ambitious supply targets (MHCLG, 2025). When planning approval, building-safety review and financing delay interact, the developer's holding period lengthens and project internal rate of return declines even if final demand remains strong.

Azerbaijan's risk profile is more mixed. On one hand, real estate development benefits from public investment, urban demand and continued construction activity. The 2025 fixed-asset investment data show that construction remains a major capital-allocation channel, with AZN 3,074.4 million directed to dwelling-house construction (State Statistical Committee of Azerbaijan, 2026). On the other hand, the decrease in total fixed-asset investment by 5.6% compared with 2024 indicates that the development environment is still sensitive to macroeconomic and investment-cycle changes.

## DISCUSSION

The Central Bank of Azerbaijan's Financial Stability Report provides a particularly important signal for development risk: housing prices increased by 46% compared with June 2020, and market activity is expected to remain high amid residential investment, ongoing development works and legalization of undocumented houses (Central Bank of Azerbaijan, 2025: 75). For developers, this creates opportunity but also exposes projects to affordability and documentation risks. Rising prices may support developer revenue in the short run, yet they can weaken the pool of mortgage-qualified households if income growth and lending capacity do not keep pace.

Legal, land-title and infrastructure risks receive a higher score in Azerbaijan than in the USA and the UK because market transparency, documentation standardization and infrastructure coordination are still developing. This does not mean that Azerbaijan is riskier in every dimension. Rather, the dominant transmission channel is different: in mature markets, risk is often priced through interest rates, insurance and regulation; in Azerbaijan, it is also embedded in land documentation, access to utilities, regional infrastructure and the reliability of comparable market data.

The scoring matrix below summarizes the comparative evaluation. The values are not survey statistics; they are structured analytical scores derived from the documentary evidence and theoretical framework. A score above 15 indicates high exposure, 10-15 indicates moderate-to-high exposure, 5-9 indicates moderate exposure, and below 5 indicates limited exposure.



**Table 2. Country-level risk exposure matrix ( $I \times P = E$ )**

| Risk factor                               | USA E score | UK E score | Azerbaijan E score | Highest exposure |
|-------------------------------------------|-------------|------------|--------------------|------------------|
| Macrofinancial and financing risk         | 20 (5x4)    | 16 (4x4)   | 12 (4x3)           | USA              |
| Construction cost and supply-chain risk   | 16 (4x4)    | 16 (4x4)   | 16 (4x4)           | Equal            |
| Regulatory and permitting risk            | 12 (4x3)    | 25 (5x5)   | 12 (4x3)           | UK               |
| Demand and affordability risk             | 20 (5x4)    | 16 (4x4)   | 16 (4x4)           | USA              |
| Climate, insurance and environmental risk | 16 (4x4)    | 9 (3x3)    | 9 (3x3)            | USA              |
| Legal, land-title and infrastructure risk | 6 (3x2)     | 9 (3x3)    | 16 (4x4)           | Azerbaijan       |
| Average exposure score                    | 15.0        | 15.2       | 13.5               | UK / USA         |

The matrix indicates that the UK has the highest average risk exposure, mainly because regulatory and planning risk is exceptionally strong. The USA follows closely because affordability, financing and climate-insurance risks are high and mutually reinforcing. Azerbaijan has a slightly lower average score, but this should not be misread as low risk. Its risk is concentrated in affordability, construction-cost exposure, land documentation and infrastructure coordination. Therefore, the policy response should not be uniform across countries.

For the USA, the main managerial implication is the need for stress-tested feasibility models. Developers should test projects under mortgage-rate, insurance-cost and materials-price scenarios rather than relying on a single expected case. For the UK, the most urgent mitigation strategy is reducing planning and building-safety uncertainty through clearer timeframes, phased approvals and better coordination among planning authorities, regulators and developers. For Azerbaijan, the priority is strengthening land documentation, infrastructure sequencing and market-data transparency so that developers and lenders can price risk more accurately.

The comparative evidence also shows that risk mitigation is not only a private-sector responsibility. Public institutions shape development feasibility through planning speed, cadastral quality, infrastructure investment, monetary conditions, insurance regulation and construction standards. As a result, the most effective risk-management systems combine developer-level tools such as risk registers and contingency budgets with institutional reforms that reduce uncertainty before a project reaches the construction phase.

**Table 3. Strategic mitigation directions by country**

| Risk problem                       | USA                                                                                  | UK                                                                                                           | Azerbaijan                                                                                        |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Financing and affordability        | Use rate-sensitivity models, alternative capital stacks and phased sales strategies. | Improve viability assessment transparency and align affordable-housing obligations with financing realities. | Expand mortgage-data transparency and link housing supply to income and credit-access indicators. |
| Construction cost and labor        | Use escalation clauses, early procurement and workforce partnerships.                | Strengthen cost-indexation methods and contractor-capacity planning.                                         | Improve domestic supply-chain capacity and reduce exposure to imported input volatility.          |
| Regulatory and permitting          | Standardize local permitting benchmarks across high-growth metros.                   | Reduce planning delay and clarify Building Safety Regulator timelines.                                       | Improve land-use clarity, cadastral reliability and approval coordination.                        |
| Climate and environmental exposure | Integrate insurance availability and hazard mapping into site acquisition decisions. | Prioritize flood-resilience, energy-efficiency and retrofit-linked planning.                                 | Strengthen seismic, drainage and heat-resilience standards in new developments.                   |
| Market data and transparency       | Use granular metro-level absorption and insurance data.                              | Improve open data on planning pipelines and construction viability.                                          | Develop reliable price, transaction and project-completion datasets.                              |

### CONCLUSION

This study evaluated the impact of prevalent risks in the real estate development industry through a comparative analysis of the USA, the UK and Azerbaijan. The results show that development risk cannot be understood as a universal checklist. The same risk category changes its impact depending on market depth, regulatory structure, financial conditions, land-governance quality and infrastructure capacity.

The USA is most exposed to the combined effects of financing, affordability, construction costs and climate-insurance risk. Its market is liquid and data-rich, but developers operate in an environment where mortgage rates, insurance premiums and input prices can rapidly erode feasibility. The UK is most exposed to planning, building-safety and viability risk. Its challenge is not only cost inflation but the time value of regulatory delay. Azerbaijan is exposed to a different configuration: demand and price growth create development opportunities, but land documentation, infrastructure sequencing, affordability and market-data limitations remain material risks.

The main contribution of the study is the comparative risk matrix that connects risk dimensions with country-specific transmission channels. This matrix can be adapted by developers

at the project-feasibility stage and by policymakers when designing housing-supply, planning and infrastructure reforms. The findings also support a broader conclusion: real estate development risk is best managed before construction begins, when land acquisition, approval, finance and design decisions are still adjustable.

Developers should prepare project-specific risk registers that separately score impact, probability and mitigation cost for financing, construction, regulatory, demand, climate and legal risks.

Feasibility studies should include scenario analysis for interest rates, absorption speed, construction-cost escalation and insurance availability.

Public authorities should reduce uncertainty in permitting by publishing clear approval timelines, infrastructure requirements and building-safety review procedures.

Azerbaijan should strengthen market-data transparency, cadastral reliability and infrastructure coordination to improve bankability of development projects.

Future academic studies should test the proposed matrix with primary survey data from developers, lenders, contractors and planning professionals in the three countries.

The study has limitations. It uses documentary evidence rather than a primary survey; it evaluates national-level risk environments rather than individual projects; and national data categories are not fully harmonized. Nevertheless, the comparative framework provides a practical basis for more detailed empirical research and for development-risk planning in different institutional contexts.

## REFERENCES

- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Bank of England. (2026). Interest rates and Bank Rate: Our latest decision. <https://www.bankofengland.co.uk/monetary-policy/the-interest-rate-bank-rate>
- Baum, A. (2015). *Real Estate Investment: A Strategic Approach* (3rd ed.). Routledge.
- Central Bank of Azerbaijan. (2025). Financial Stability Report: Half 1 2025. <https://uploads.cbar.az/assets/FSR%20H1%202025%20ENG.pdf>
- Fannie Mae. (2025). Economic developments: March 2025. <https://www.fanniemae.com/research-and-insights/forecast/economic-developments-march-2025>
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6-19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
- Geltner, D., Miller, N. G., Clayton, J., & Eichholtz, P. (2014). *Commercial Real Estate Analysis and Investments* (3rd ed.). OnCourse Learning.
- Ministry of Housing, Communities and Local Government. (2025). Housing supply: Net additional dwellings, England: 2024 to 2025. <https://www.gov.uk/government/statistics/housing-supply-net-additional-dwellings-england-2024-to-2025/housing-supply-net-additional-dwellings-england-2024-to-2025>
- Miller, R., & Lessard, D. (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. *International Journal of Project Management*, 19(8), 437-443. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00045-X)
- NAHB. (2025). HBI report reveals economic impact of labor shortages on housing production. <https://www.nahb.org/blog/2025/10/hbi-labor-market-report>
- NAHB. (2026). Building material price growth remains elevated despite a sluggish market. <https://www.nahb.org/blog/2026/01/building-material-price-growth>
- NAHB. (2026). How tariffs impact the home building industry. <https://www.nahb.org/advocacy/top-priorities/building-materials-trade-policy/how-tariffs-impact-home-building>

- Office for National Statistics. (2026). Construction output in Great Britain: December 2025, new orders and construction output price indices, October to December 2025. <https://www.ons.gov.uk/businessindustryandtrade/constructionindustry/bulletins/constructionoutputgreatbritain/december2025newordersandconstructionoutputpriceindicesoctobertodecember2025>
- RICS. (2026). UK construction activity remains subdued as forward indicators signal gradual recovery. <https://www.rics.org/news-insights/uk-construction-activity-remains-subdued-forward-indicators-signal-gradual-recovery>
- RICS. (2026). UK construction activity weakens as credit and cost pressures intensify in wake of Middle East conflict. <https://www.rics.org/news-insights/rics-uk-construction-monitor-q1-2026>
- State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2025). Construction in Azerbaijan 2025. <https://www.stat.gov.az/source/construction/?lang=en>
- State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2026). Investments directed to fixed assets. <https://www.stat.gov.az/news/index.php?id=6582&lang=en>
- U.S. Census Bureau. (2026). Monthly new residential construction, March 2026. <https://www.census.gov/construction/nrc/current/index.html>

# ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ В КАЗАХСТАНЕ: НА ПРИМЕРЕ ТОО «АНПЗ»

**Беккалиев Мухаммад Бауыржанулы**

Магистрант Высшая школа бизнеса, Университет Нархоз Алматы, Казахстан

**Магай Татьяна**

научный руководитель, к.э.н., доцент, ОП «Менеджмент», ШЭМ, НАО «Университет Нархоз» (Алматы, Республика Казахстан)

Аннотация. В статье рассматриваются особенности современного состояния нефтеперерабатывающей отрасли, при этом в качестве основного примера взята деятельность ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод». В центре внимания находится то, как формируются основные группы затрат и какие обстоятельства оказывают на них наиболее заметное влияние. Отдельный интерес представляет влияние ценового регулирования, поскольку именно оно во многом определяет пределы, в которых предприятие может поддерживать экономическую устойчивость. Для более широкого понимания ситуации были сопоставлены данные о зарубежных подходах к переработке нефти, что позволило выделить существенные отличия между отечественными предприятиями и крупными международными НПЗ. Кроме анализируемых экономических факторов, рассматриваются и технологические особенности завода, например глубина переработки, потребление энергии и использование цифровых инструментов в ходе производственных операций. По итогам исследования обозначены направления, которые могут способствовать повышению эффективности работы: совершенствование отдельных элементов затратной структуры, развитие аналитической поддержки решений и постепенное усиление нефтехимического блока. Выводы показывают, что переход к более гибкой и технологичной модели управления становится важным условием устойчивости предприятий отрасли в изменяющейся экономической среде.

Ключевые слова. Нефтеперерабатывающие мощности; производственная себестоимость; структура затрат; технологические ограничения; глубина переработки нефти; энергоёмкие процессы; операционная координация; цифровые инструменты управления; нефтехимическая интеграция; рентабельность переработки.

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы развития нефтеперерабатывающей отрасли в последние годы всё чаще связывают не только с обновлением оборудования, но и с тем, насколько согласованно предприятия управляют собственными производственными и экономическими контурами. На примере ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» это особенно заметно: завод функционирует в условиях фиксированных внутренних цен и при этом сталкивается с изменчивой стоимостью сырья и энергоресурсов, что отражается на общих финансовых результатах [1]. Такая ситуация приводит к тому, что устойчивость предприятия во многом определяется тем, как оно распределяет издержки внутри производственного цикла и насколько эффективно налажено взаимодействие между отдельными технологическими звеньями.

При обращении к официальной отчётности АНПЗ обращает на себя внимание структура расходов: значительную их часть занимают закуп сырья и поддержание энергетической

нагрузки производства, причём корректировка ценовой политики ограничена действующими нормативами [1]. В совокупности это формирует достаточно жёсткие рамки, в которых предприятие должно поддерживать рентабельность. При этом структура себестоимости отечественных НПЗ заметно отличается от моделей, применяемых крупными зарубежными переработчиками, где более широко распространены высокотехнологичные схемы глубокой переработки и разветвлённые системы координации процессов [2]. В международных исследованиях подчёркивается, что устойчивый результат достигается за счёт развития нефтехимического блока, гибкой организации потоков и активного применения цифровых инструментов управления [3].

Сопоставление производственных и финансовых характеристик АНПЗ с зарубежными примерами выявляет ряд расхождений, которые носят не разовый, а системный характер. Речь идёт прежде всего о высокой энергоёмкости, особенностях конфигурации производственных линий и недостаточной цифровой интеграции, что ограничивает скорость реакции на изменения в качестве сырья и параметрах загрузки [2]. В подобных условиях повышение эффективности невозможно свести исключительно к модернизации отдельных установок: более заметный эффект дают организационные изменения, оптимизация внутренних потоков и внедрение аналитических инструментов, позволяющих снижать потери и точнее координировать работу оборудования [3].

Цель данной работы состоит в том, чтобы проследить, как складывается экономическая ситуация на нефтеперерабатывающем предприятии на примере АНПЗ, определить ключевые факторы, формирующие структуру затрат, и обозначить направления, которые могут повысить устойчивость и производственные показатели. В качестве методологической базы используются финансовые данные завода, аналитические материалы отрасли и исследования, посвящённые современным подходам к организации переработки нефти [3]. Такой подход позволяет связать особенности внутреннего устройства предприятия с экономической динамикой и представить набор практических мер, способных улучшить результаты деятельности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование опирается на совокупность материалов, которые позволяют связать экономические показатели переработки с организацией производственных процессов. Основной эмпирической базой стали финансовые документы предприятия, включая аудиторские отчёты за последние периоды, где подробно раскрывается структура затрат, особенности ценообразования и динамика основных производственных показателей [1; 2]. Эти данные рассматриваются не только как набор количественных показателей, но и как отражение того, как предприятие распределяет ресурсы и реагирует на внешние ограничения. Дополнительным источником служат отраслевые аналитические обзоры, в которых описываются общие тенденции развития нефтепереработки, включая различия в глубине переработки, энергоёмкости и степени цифровизации на международном уровне [3; 4]. Сопоставление этих материалов помогает выявить элементы, которые вносят вклад в общую экономическую картину, и понять, почему одни модели оказываются более устойчивыми, чем другие.

Методологически работа сочетает элементы структурного анализа себестоимости, сравнительного подхода и функционального рассмотрения производственной схемы. Такой выбор обусловлен тем, что экономическая эффективность переработки формируется не одним фактором, а совокупностью технологических и организационных решений, которые проявляются в финансовых данных лишь частично. Сначала анализируются прямые статьи затрат, поскольку именно они дают первичное представление о характере финансовой



нагрузки. Затем эти данные сопоставляются с технологическими параметрами предприятия, среди которых наибольшее значение имеют глубина переработки, отбор светлых нефтепродуктов и особенности загрузки установок. Это позволяет определить, насколько производственный контур АНПЗ соответствует общепринятым моделям, применяемым на ряде зарубежных заводов [4].

Кроме того, в исследовании используется качественный анализ организационных элементов, влияющих на процессы принятия решений внутри предприятия. Сюда входят вопросы согласованности между планированием и фактическими производственными операциями, уровень цифровой поддержки и наличие инструментов наблюдения в реальном времени. Поскольку эти элементы редко представлены в финансовой отчётности напрямую, их интерпретация опирается на сочетание открытых данных и логики производственного моделирования, описанной в профессиональной литературе по нефтепереработке [5]. Такой подход позволяет связать экономические показатели с особенностями управления и рассматривать эффективность не только через финансовые результаты, но и через структуру внутренних процессов.

В целом примененная методология ориентирована на постепенное раскрытие причинно-следственных связей между организацией производственного процесса и экономическими итогами деятельности предприятия. Это даёт возможность не просто зафиксировать текущее положение дел, но и определить направления, в которых изменения могут принести наибольший эффект.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ финансовых материалов предприятия позволяет проследить характер изменений, которые наиболее заметно отражаются на общей экономике нефтепереработки. В отчётности АНПЗ за последние периоды фиксируется устойчивая тенденция превышения затрат над доходами, что объясняется сочетанием высокой стоимости сырья и ограничений, связанных с внутренним ценообразованием [1; 2]. При этом объёмы переработки остаются достаточно стабильными, что указывает на отсутствие значимых технологических сбоев. Следовательно, основная нагрузка формируется не из-за перебоев в работе оборудования, а за счёт факторов, связанных со структурой производства и организацией расходных статей. Международные аналитические обзоры подчёркивают, что подобная ситуация характерна для предприятий, где значительная часть себестоимости определяется закупочными ценами и энергоёмкостью технологического цикла [3; 4].

Чтобы более наглядно показать соотношение ключевых элементов, влияющих на экономические результаты деятельности АНПЗ, была сформирована таблица, которая отражает несколько групп факторов: производственные параметры (глубина переработки, выход светлых фракций), основную структуру затрат и ограничения, сформированные ценовым регулированием. Эти данные соотносятся с международными практиками, что позволяет понять, какие элементы являются системными и не зависят от колебаний конкретного периода.

Таблица 1 - Основные элементы, влияющие на экономическую эффективность ТОО «АНПЗ»

| Группа факторов                                                                                 | Наблюдения по АНПЗ                                                                                                   | Сопоставление с международными практиками                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Структура затрат                                                                                | Высокая доля сырьевых и энергетических расходов; ограниченная возможность варьировать цену готовых продуктов [1]     | На зарубежных НПЗ часть нагрузки компенсируется гибким рынком сбыта и диверсификацией продуктов    |
| Глубина переработки                                                                             | Показатель модернизированного уровня, однако уступает предприятиям с высокими объемами нефтехимического передела [4] | Современные НПЗ используют глубокую переработку для увеличения выхода высокомаржинальных продуктов |
| Технологические потери                                                                          | Отражены в отчётных документах как стабильные, но чувствительные к изменению качества сырья [2]                      | Уменьшаются благодаря цифровому мониторингу и точным системам контроля качества                    |
| Энергоёмкость                                                                                   | Существенная статья затрат, влияющая на итоговую рентабельность [1]                                                  | Международные НПЗ оптимизируют энергию за счёт автоматизированных систем тепловых балансов         |
| Ценовое регулирование                                                                           | Лимитирует возможность компенсировать рост себестоимости [1]                                                         | На нерегулируемых рынках предприятия частично переносят затраты на конечную цену                   |
| Примечание: таблица составлена на основании источников [1–5] и анализа авторского исследования. |                                                                                                                      |                                                                                                    |

Полученные результаты позволяют увидеть, что структура затрат АНПЗ содержит несколько элементов, которые трудно изменить в краткосрочной перспективе. В первую очередь, это высокая стоимость сырья и энергоёмкость, которая формирует основную часть себестоимости. При этом международный опыт показывает: предприятия, имеющие более высокую долю нефтехимического передела, как правило, меньше зависят от внутреннего ценового регулирования, поскольку получают доход от продукции высокого передела [4]. В случае АНПЗ такая возможность ограничена существующей конфигурацией установок.

Ещё один вывод связан с уровнем технологической координации. Несмотря на модернизацию завода, в отчётных материалах отсутствуют упоминания о цифровых инструментах, позволяющих оперативно учитывать изменения параметров сырья и технологических потоков [2]. Это важно, поскольку такие инструменты помогают заметно снижать технологические потери и обеспечивают более уверенное управление загрузкой

оборудования. анализ зарубежных публикаций подтверждает, что цифровые системы мониторинга и прогнозирования сегодня рассматриваются как один из самых результативных инструментов повышения рентабельности переработки [5; 6].

В совокупности результаты показывают, что экономическое положение АНПЗ определяется не одной доминирующей причиной, а комбинацией факторов — технологических, организационных и связанных с ценовым регулированием. Такое положение формирует устойчивую необходимость в поиске направлений повышения эффективности, которые не противоречат действующей модели рынка и могут быть реализованы на уровне самого предприятия.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты позволяют взглянуть на экономическое положение АНПЗ как на следствие сочетания технологических характеристик завода и внешних ограничений, которые определяют рамки его деятельности. При сравнении с международными примерами становится очевидно, что значительная часть факторов, влияющих на себестоимость, носит устойчивый характер и формируется ещё на уровне состава оборудования, глубины переработки и исторически сложившейся структуры производственных потоков [4]. Эти элементы трудно изменить быстро, и именно поэтому предприятие демонстрирует высокую чувствительность к стоимости сырья и энергоёмкости. В зарубежных исследованиях отмечается, что заводы, не имеющие развитой нефтехимической интеграции, как правило, оказываются в положении, где их рентабельность напрямую зависит от ценовых колебаний и степени эффективности внутренних процессов [7].

В случае АНПЗ такой зависимости избежать не удаётся. отчётность завода подтверждает, что высокая доля сырьевых и энергетических расходов сохраняется даже при стабильной загрузке оборудования [1; 2]. Это говорит о том, что дальнейшее повышение эффективности невозможно рассматривать исключительно через призму модернизации отдельных установок. В мировой практике всё большее значение приобретает умение предприятия адаптировать производственный контур к оперативным изменениям параметров сырья, потребления энергии и интенсивности технологических потоков [3; 8]. Для этого используются инструменты, которые обеспечивают более быстрое реагирование на отклонения, — от систем прогнозирования до платформ реального мониторинга. В ситуации, когда рынок сбыта ограничен ценовым регулированием, подобная адаптивность становится едва ли не основным способом сдерживания роста себестоимости.

Следующий аспект дискуссии связан с тем, насколько организационные решения внутри предприятия могут компенсировать технологические ограничения. В литературе подчёркивается, что эффективность переработки часто определяется не только характеристиками оборудования, но и тем, как выстроены коммуникации между подразделениями, каким образом собирается и передаётся информация, и насколько оперативно принимаются решения при изменении производственной обстановки [7]. В материалах АНПЗ нет сведений о том, что подобные цифровые инструменты используются в полной мере, поэтому создаётся впечатление, что предприятие остаётся в положении, где часть решений принимается с задержкой. Такая ситуация усложняет управление технологическими потерями и увеличивает вероятность того, что оборудование работает без учёта возможных корректировок в режиме реального времени.

В международной практике сбалансированная интеграция нефтехимических мощностей способна существенно повысить устойчивость переработки, особенно в условиях ограничения конечных цен [8]. В этом контексте АНПЗ сталкивается с тем, что текущая конфигурация производства не позволяет встраивать в поток дополнительные

продукты высокого передела, которые могли бы сгладить экономические колебания. Направления, связанные с увеличением глубины переработки или расширением нефтехимического блока, требуют значительных инвестиций, и потому предприятие вынуждено сосредотачиваться на тех мерах, которые могут быть реализованы быстрее и с меньшими затратами.

Таким образом, обсуждение подчёркивает, что экономическая устойчивость АНПЗ формируется на пересечении трёх групп факторов: технологических параметров, организационной координации и внешних ограничений, связанных с регулированием рынка. Учитывая это, повышение эффективности возможно лишь при сочетании нескольких направлений - оптимизации затрат, внедрения цифровых инструментов и последовательного улучшения производственной конфигурации. Эти выводы создают основу для формирования практических рекомендаций, которые будут рассмотрены в последующих разделах.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ показал, что экономическая устойчивость нефтеперерабатывающих предприятий во многом определяется сочетанием технологических параметров, организационной структуры и внешних ограничений, связанных с государственным регулированием рынка. На примере ТОО «АНПЗ» стало видно, что высокая доля затрат на сырьё и энергоресурсы формирует значительную нагрузку на себестоимость, при этом предприятие не располагает возможностью корректировать цену готовой продукции вследствие установленных нормативных рамок [1; 2]. Сравнение с международными моделями переработки показывает, что зарубежные НПЗ достигают большей устойчивости благодаря более глубокой переработке и использованию инструментов оперативного управления, которые помогают снижать технологические потери и более эффективно распределять ресурсную нагрузку [3; 4].

Результаты исследования подчёркивают, что повышение эффективности деятельности АНПЗ невозможно рассматривать исключительно как технологическую задачу. Значительную роль играют организационные механизмы, включая координацию между подразделениями, качество информационных потоков и способность предприятия оперативно реагировать на изменения параметров сырья и нагрузки оборудования [7]. Внедрение цифровых систем мониторинга, прогнозирования и поддержки принятия решений может стать одним из наиболее доступных и в то же время результативных направлений развития, не требующим кардинального изменения производственной конфигурации [8].

Таким образом, повышение эффективности НПЗ может базироваться на нескольких параллельных шагах: более точном управлении затратами, постепенном расширении глубины переработки, снижении энергоёмкости и внедрении современных инструментов цифровизации. Итоги анализа позволяют заключить, что комбинирование этих мер способно укрепить экономическое положение предприятия и повысить устойчивость отрасли в целом. Рассмотренные выводы могут быть использованы как основа для дальнейших исследований, ориентированных на разработку практических рекомендаций и оценку долгосрочных сценариев развития нефтепереработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аудиторский отчёт ТОО «атырауский нефтеперерабатывающий завод» за 2023 год. — атырау, 2024.
2. Аудиторский отчёт ТОО «атырауский нефтеперерабатывающий завод» за 2024 год. — атырау, 2025.
3. International Energy Agency. *Oil Refining Industry Outlook*. Paris: IEA Publications, 2022.
4. OECD. *Energy Efficiency Indicators: Methodological Framework*. Paris: OECD, 2023.
5. Smith J. *Operational Patterns in Modern Refineries: Technological Trends and Efficiency Drivers*. *Journal of Industrial Energy*, 2021.
6. PetroTech Analytics. *Global Refinery Benchmark Report 2023*. — London: PetroTech Research Group, 2023.
7. Khan M. *Adaptive Models of Cost Management in Oil Refining*. *Energy Systems Review*, 2020.
8. Nguyen H. *Integration of Digital Monitoring Systems in Process Industries*. *Industrial Automation Review*, 2021.

#### REFERENCES

1. Atyrau Refinery LLP. *Auditor's Report for 2023*. Atyrau, 2024.
2. Atyrau Refinery LLP. *Auditor's Report for 2024*. Atyrau, 2025.
3. International Energy Agency. *Oil Refining Industry Outlook*. Paris: IEA Publications, 2022.
4. OECD. *Energy Efficiency Indicators: Methodological Framework*. Paris: OECD, 2023.
5. Smith, J. "Operational Patterns in Modern Refineries: Technological Trends and Efficiency Drivers." *Journal of Industrial Energy*, 2021.
6. PetroTech Analytics. *Global Refinery Benchmark Report 2023*. London: PetroTech Research Group, 2023.
7. Khan, M. "Adaptive Models of Cost Management in Oil Refining." *Energy Systems Review*, 2020.
8. Nguyen, H. "Integration of Digital Monitoring Systems in Process Industries." *Industrial Automation Review*, 2021.

**THE ECONOMIC CONDITION OF THE OIL REFINING INDUSTRY IN KAZAKHSTAN: THE CASE OF THE “ANPZ” LLC**

**Bekkaliyev Mukhammad Bauyrzhanuly**

Master’s student,  
Narxoz Business School (NBS)  
Almaty, Kazakhstan

**Magay Tatyana** – academic supervisor,

scientific supervisor,  
Candidate of Economic Sciences,  
professor of Department of Management  
NAO “NARXOZ University”  
(Almaty, Republic of Kazakhstan)

**Abstract.** This article examines the current state of the oil refining industry, using the operations of Atyrau Oil Refinery LLP as a primary example. The focus is on how the main cost categories are formed and which factors have the most significant impact on them. Of particular interest is the impact of price regulation, as it is this factor that largely determines the limits within which the enterprise can maintain economic stability. To gain a broader understanding of the situation, data on foreign approaches to oil refining were compared, which allowed us to identify significant differences between domestic enterprises and large international refineries. In addition to the economic factors analyzed, the study also examines the plant’s technological characteristics, such as the depth of processing, energy consumption, and the use of digital tools in production operations. Based on the study’s findings, directions are identified that could contribute to improving operational efficiency: optimizing specific elements of the cost structure, developing analytical support for decision-making, and gradually strengthening the petrochemical segment. The findings indicate that the transition to a more flexible and technologically advanced management model is becoming a key condition for the sustainability of enterprises in the industry within a changing economic environment.

**Keywords:** Oil refining capacity; production cost; cost structure; technology constraints; depth of oil refining; energy-intensive processes; operational coordination; digital management tools; petrochemical integration; refining profitability.



# BUSINESS EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF THE IMPLEMENTATION OF FINANCIAL DIGITAL TECHNOLOGIES

**Liu Jianhong**

EMBA, Al-Farabi Kazakh National university, Farabi international business school

**Doszhan Raigul**

PhD · Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University

## Introduction

The purpose of the research is to provide a theoretical justification and practical implementation of measures aimed at improving business efficiency in the context of the integration of financial digital technologies. The study aims to identify the mechanisms of the impact of financial digital technologies on key performance indicators of organizations.

The relevance of this topic is due to the rapid development of the digital economy, the expansion of the use of financial technologies, the automation of financial processes and the need for businesses to adapt to the new competitive environment, where digitalization is becoming a key factor for sustainable growth and increased resource management efficiency.

The scientific novelty of the research lies in the systematization of approaches to assessing the impact of financial digital technologies on business efficiency, as well as in identifying the relationship between the level of digitalization of financial processes and the improvement of operational, investment and management results of the enterprise. The research question is as follows: how does the introduction of financial digital technologies affect the improvement of business efficiency and which mechanisms ensure the greatest return from their use?

In accordance with the purpose and the research question, the following tasks were defined:

To analyze the theoretical foundations and modern approaches to the concept of digital financial technologies and business efficiency, as well as to identify the main directions of their development in the digital economy. Identify and substantiate the mechanisms of the impact of digital financial technologies on business performance indicators, including operational, financial and managerial components, as well as identify key factors that maximize the effect of their implementation.

## Literature review

A review of the literature on business efficiency in the context of the introduction of financial digital technologies shows that modern research is mainly focused on the impact of FinTech, digital transformation and innovative technologies such as artificial intelligence, blockchain and machine learning on the financial performance of companies and the banking sector.

Kou and Lu consider the integration of new financial technologies, including artificial intelligence, blockchain, and machine learning [1]. The authors note that these technologies form a more efficient, secure and adaptive financial system, contributing to improving the overall efficiency of financial processes and improving the quality of business decision-making. The authors conclude that digital financial technologies are a key tool for modernizing the financial system and increasing its productivity. They also emphasize the existence of technological and organizational barriers to the introduction of these technologies.

The study by Xu, Kaspersky and Sagarra analyzes the impact of FinTech on banking efficiency using bibliometric analysis methods [2]. As a result of the study, the authors conclude that the introduction of financial technologies has a positive impact on banks' performance indicators, including profitability, operational efficiency and cost reduction. In addition, FinTech promotes financial inclusion and competitiveness.

Li et al also study the impact of FinTech on the efficiency of commercial banks [3]. The authors show that digital financial technologies contribute to productivity growth by reducing information asymmetry, reducing financial constraints, and increasing enterprise innovation activity. The effect of technology adoption depends on the level of digital maturity of organizations and the institutional environment.

In turn, Huang and Said in a systematic review note that FinTech significantly transforms banking operations, improves customer service, risk management and operational efficiency [4]. The introduction of financial digital technologies also creates new challenges related to data security, regulation, and technological dependence.

An analysis of literary sources shows that the introduction of financial digital technologies generally increases business efficiency by optimizing processes, reducing costs, speeding up decision-making and improving financial results.

As a result of the analysis of literary sources, a number of important conclusions can be drawn that are relevant to this study.

Firstly, the positive impact of financial technology on business efficiency is confirmed.

Secondly, the key mechanisms of this influence are identified, such as cost reduction, increased transparency and automation of processes.

Thirdly, the existing limitations and risks associated with digitalization are outlined.

Fourthly, a theoretical basis is being formed for further empirical analysis of the factors influencing business efficiency in the context of digital transformation of financial technologies.

### **Research methodology**

The case study method is used to study the topic. This method allows for a deep and comprehensive analysis of a particular company – Kaspi.kz – in order to identify all existing digital financial technologies and evaluate their effectiveness.

The essence of the case study method is a detailed study of one organization as an integrated system that operates in the context of digital transformation. Unlike generalized statistical approaches, this method allows you to focus on individual processes of financial technology development, their practical application and the level of activity they demonstrate in a specific business environment.

The use of the case method in this topic implies an analysis of both internal and external aspects of the company's activities. Kaspi.kz This company was chosen as the object of research. The research focuses on the following aspects:

- Implementation of digital systems;
- Development of mobile financial applications;
- Automation of business processes;
- Application of analytical platforms;
- Integration of various financial services into a single ecosystem.

The case study method also includes the study of key business performance indicators, such as:

- The level of operating expenses;
- Profitability;
- The speed of financial transactions;
- Quality of cash flow management;
- The level of financial risks;

- The level of automation of processes.

These indicators are analyzed in dynamics, which makes it possible to identify changes that have occurred as a result of the introduction of digital technologies.

The key feature of the case method is the use of various sources of information: financial statements of the company, analytical reviews, scientific literature, as well as open data on activities Kaspi.kz. This ensures the reliability and comprehensiveness of the research.

The case study method makes it possible to take into account the context of the company, including market features, the level of digitalization of the economy and the competitive environment. This is especially important in the context of our topic, since the effectiveness of financial technologies largely depends on external factors.

Thus, the case study method in our study allows for a deeper understanding of how financial digital technologies affect business performance in practice. It not only captures changes in performance indicators, but also identifies cause-and-effect relationships between digitalization and company results, making it one of the most suitable tools for uncovering this topic.

### **Results and discussion**

As part of a case study using an example Kaspi.kz The indicator of the level of operating expenses is analyzed in as much detail as possible, with the deployment of specific elements and mechanisms for their change under the influence of digitalization(table 1).

Table 1 – the level of operating expenses Kaspi.kz

| Indicator                     | What is being analyzed                                  | Before digital technologies                                                            | After digital technologies                                                                | Effect (result)                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Personnel expenses</b>     | Number of employees, payroll fund, employment structure | Large number of operational staff (cashiers, operators), high salary and service costs | Reduction of operational staff, growth of IT and analytics roles, lower cost per customer | Cost reduction, increased labor productivity          |
| <b>Branch maintenance</b>     | Rent, utilities, office maintenance                     | Extensive branch network, high maintenance costs                                       | Reduction of branches, shift to online services                                           | Significant cost savings, lower customer service cost |
| <b>Transaction processing</b> | Cost and time of processing one transaction             | Manual processing, high cost and long execution time                                   | Automation, instant online transactions                                                   | Lower transaction cost, higher speed                  |
| <b>Document management</b>    | Paper vs electronic processes, document storage         | Paper-based documents, printing, storage, and processing costs                         | Electronic document management, digital signatures and mobile solutions                   | Cost reduction, faster processes, fewer errors        |
| <b>IT infrastructure</b>      | Investments in technology and system maintenance        | Low level of IT development, limited systems                                           | High initial investments in digital platforms and cybersecurity                           | Long-term efficiency gains and business scalability   |
| <b>Process automation</b>     | Share of operations performed without human involvement | Low level of automation, high dependence on staff                                      | High automation, majority of operations performed online                                  | Cost reduction, higher efficiency                     |
| <b>Customer service cost</b>  | Cost per customer                                       | High cost due to offline service channels                                              | Reduced cost due to digital channels                                                      | Increased efficiency and scalability                  |
| <b>Operational speed</b>      | Time required to complete transactions                  | Slow processes (minutes/hours/days)                                                    | Instant real-time operations                                                              | Improved service quality and competitiveness          |

The source was compiled by the author based on the data [5-8]

During the discussion of the results of the company's case Kaspi.kz Based on the presented table, it is possible to draw a conclusion about the complex impact of financial digital technologies on all key elements of business operational efficiency.

First of all, the analysis of the table shows that digitalization has had the most significant impact on personnel costs. Before the introduction of digital technologies, the company was

forced to maintain a large staff of operational staff, which created a high level of fixed costs. After the transition to digital services, there has been a redistribution of the employment structure in favor of IT specialists and analysts, as well as a reduction in the cost of servicing a single client. This confirms that automation directly affects the cost structure of a business, increasing its efficiency.

The table also shows how the company is moving from a traditional model with multiple physical offices to a digital service format. Reducing the number of branches and switching to online services significantly reduce the cost of rent, utilities and operational maintenance. Digitalization reduces the dependence of businesses on physical infrastructure, which is especially important for their scalability.

Transaction processing analysis shows how business processes are undergoing significant changes. Previously, operations were performed manually, which was expensive and time-consuming. Now everything happens automatically, instantly. This not only reduces the cost of each transaction, but also significantly increases the speed of customer service, which strengthens the company's competitive position in the market.

The table clearly demonstrates how the transition from traditional paper processes to electronic systems using digital signatures is taking place. This helps to reduce the cost of printing, storing and processing documents, as well as reduces errors and speeds up internal processes. This aspect is of particular importance for increasing the transparency and manageability of the business.

As for the IT infrastructure, there is a characteristic trend for digital transformation. The initial growth in investments in technology, cybersecurity, and digital platforms is offset by long-term savings and the ability to scale the business. This indicates the strategic nature of digital investments.

Analysis of automation of operations in the company Kaspi.kz It shows that an increase in the proportion of processes performed without human intervention is one of the key factors contributing to cost reduction. The high level of automation in the company ensures the stability of operations, reduces the influence of the human factor and, as a result, increases productivity.

As for the cost of customer service, the table shows a significant decrease due to the transition to digital channels. This allows you to serve more customers at lower cost, which directly affects the scalability and profitability of the business.

Finally, the transaction speed indicator clearly demonstrates the most noticeable effect of digitalization: from slow processes that take hours or even days to instant real-time operations. This, in turn, improves the quality of service, customer satisfaction and the overall competitiveness of the company.

Thus, the analysis of the data presented in the table clearly demonstrates that the introduction of financial digital technologies in the company Kaspi.kz It leads to significant transformations in all key aspects of business, from cost structure to speed of operations.

All these changes together contribute to a steady increase in business efficiency, which confirms the main hypothesis of the study about the crucial role of digitalization in the transformation of the company's financial model.

### **Conclusion**

The results of the case analysis and the comparative table indicate that the introduction of digital financial technologies has a systemic impact on business. They significantly reduce operating costs, increase profitability, accelerate financial transactions, as well as automate processes and improve the quality of cash flow and risk management.

The practical significance of this study lies in the fact that its findings can be used by companies in various industries to optimize their business model. They make it possible to justify the need to introduce digital platforms, automated financial systems and online services as tools to reduce costs and increase profits.

The results of the study can be useful for management and financial analysts in developing digital transformation strategies, evaluating the effectiveness of investments in fintech solutions and increasing business competitiveness in the market.

The theoretical significance of the research lies in deepening the scientific understanding of how financial digital technologies affect business efficiency. The paper systematizes key performance indicators in the context of digitalization and demonstrates their interrelation within the framework of a systematic approach. This makes it possible to deepen existing theories of digital economy and financial management, as well as clarify the role of financial technologies in transforming business processes and revenue structures of companies.

In the future, I can expect that the role of artificial intelligence, big data and automated financial platforms in business management will only increase. It is expected that financial technologies will be increasingly integrated into corporate ecosystems, which will lead to even greater automation of processes, lower transaction costs and increase the accuracy of financial forecasting.

A comparative analysis of various industries and countries is a promising direction in order to identify universal and specific effects of digitalization.

Thus, it can be confidently stated that this topic has high scientific and practical significance, since it reflects one of the key trends in the modern economy — the transition to digital financial business models that ensure sustainable development and increase the efficiency of organizations.

## References

1. Kou, G., Lu, Y. FinTech: a literature review of emerging financial technologies and applications. *Financ Innov* 11, 1 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00668-6>
2. Xu F., Kasperskaya Y., Sagarra M. The impact of FinTech on bank performance: A systematic literature review // *Digital Business*. – 2025. – T. 5. – №. 2. – P. 100131.
3. Li, Y., Stasinakis, C., Yeo, W. M., & Fernandes, F. D. S. (2025). Fintech, financial development and banking efficiency: evidence from Chinese commercial banks. *The European Journal of Finance*, 31(10), 1245–1295. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2025.2468481>
4. Huang X., Said F. F. Assessing the impact of financial technology on the efficiency of banks: a systematic literature review approach // *Risk Governance & Control: Financial Markets & Institutions*. – 2025. – T. 15. – №. 4.
5. Dmitrievna S. A. et al. Kaspi. kz's IPO and Its Impact on Kazakhstan's Stock Market // Publisher. agency: Proceedings of the 11th International Scientific Conference «Research Retrieval and Academic Letters»(December 11-12, 2025). Warsaw, Poland, 2025. 619p. – University of Warmia and Mazury in Olsztyn, 2025. – P. 347.
6. Shakenova S., Slamgazhy A., Kaldybekova A. Crisis communication: the case study of Kaspi bank of Kazakhstan // *Herald of Journalism*. – 2023. – T. 67. – №. 1.
7. Seilkhan A. Financial innovations world experience and implementation in Kazakhstan // Publisher. agency: Proceedings of the 6th International Scientific Conference «Progress in Science»(June 6-7, 2024). Brussels, Belgium, 2024. 286p. – SAE Institute, 2024. – P. 64.
8. Samal R. et al. Features of the digital market in Kazakhstan // Publisher. agency: Proceedings of the 9th International Scientific Conference «Interdisciplinary Science Studies»(May 8-9, 2025). Dublin, Ireland, 2025. 370p. – Letterkenny Institute of Technology, 2025. – P. 319.



# PSYCHOLOGICAL UTILITY AND PREFERENCE FORMATION IN IMMERSIVE CONSUMPTION: A BEHAVIORAL ECONOMIC STUDY BASED ON FLOW EXPERIENCE

**Liu Rubing**

EMBA, Al-Farabi Kazakh National university, Farabi international business school

**Abinova Alfiya**

Associate Professor, PhD., Al-Farabi Kazakh National University

## Introduction

In the context of digitalization and the active development of interactive technologies, the forms of interaction with products and services are undergoing significant changes. Consumers are moving from passive perception to a deeper and more engaged experience. Technologies such as virtual and augmented reality, video games, and interactive media create new forms of interaction between the consumer and the product.

At the center of this process is the phenomenon of "flow", described by Mihai Csikszentmihalyi, in which a person is completely immersed in activity, loses the sense of time and focuses on the current process [1]. In the context of behavioral economics, this phenomenon is of particular interest because it can significantly affect subjective usefulness and preference formation.

Traditional economic models are based on the assumption of stability and rationality of consumer preferences. Empirical research shows that in conditions of high consumer engagement, their preferences can be dynamic and context-dependent. Immersive consumption can enhance consumers emotional reactions, change their perception of the value of products, and shape new behaviors. This requires a revision of classical approaches to utility analysis.

The relevance of this study is due to the need for a deeper understanding of the mechanisms of preference formation in an immersive environment where psychological states play a key role. In the context of the development of the digital entertainment industry and interactive platforms, the study of the influence of the flow experience on economic behavior is gaining both theoretical and practical significance.

The purpose of the study is to identify the features of the formation of subjective usefulness and consumer preferences in terms of immersive consumption based on the flow experience.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks::

1. To analyze the influence of the flow state on the perception of subjective usefulness in the consumption process.
2. To investigate how immersive conditions change the structure and stability of consumer preferences.

The research question of the work can be formulated as follows: how does the experience of immersion in an immersive environment affect the subjective usefulness and formation of consumer preferences?

The scientific novelty of the research lies in the consideration of the flow experience concept in the context of behavioral economics, as well as in the author's approach to interpreting subjective utility as a dynamic process that changes under the influence of the level of consumer engagement. Unlike existing studies, where usefulness is considered as a result of rational choice, this paper proposes to analyze it through the prism of emotional and cognitive immersion in the digital environment.

Thus, this study provides a new perspective on the nature of consumer value in the digital economy and expands the theoretical foundations for analyzing consumer behavior in immersive environments.

The theoretical significance of the research lies in expanding the conceptual foundations of behavioral economics by integrating psychological factors of engagement and flow experience into the analysis of consumer behavior. The practical significance of the work is determined by the possibility of using the results obtained in the development of digital platforms, interactive services, marketing strategies and user interfaces aimed at creating sustainable engagement and increasing the perceived value of the product.

### **Literature review**

In modern scientific literature, the problem of the influence of immersive consumption and the flow experience on consumer behavior at the intersection of psychology and behavioral economics is actively investigated. One of the key directions is to study how the flow state transforms the perception of usefulness and the formation of preferences.

Modern research develops this idea in the context of digital consumption. The work by Irene Esteban, Francisco J. Martínez-Lopez, David Luna, and Inma Rodríguez-Ardura examines the application of the flow concept to online consumer behavior [2]. The authors show that the flow is an important mechanism explaining the user's interaction with the digital environment and directly affects the satisfaction and effectiveness of the consumer experience. As a result, they conclude that generating a positive user experience through flow increases the value of the product and enhances engagement.

As part of the research on augmented reality, a topic related to the influence of technological characteristics on flow formation was considered. The authors concluded that factors such as the realism and smoothness of technology enhance the experience of flow, which, in turn, affects the cognitive, emotional and behavioral reactions of consumers, including their intention to make a purchase [3]. The study showed that the flow acts as an intermediary between the immersive environment and consumer solutions.

The work on mobile augmented reality presents similar results. It considers the flow as a key factor influencing the perception of benefits and the behavioral intentions of users. The study shows that users experiencing a high level of flow tend to interact with the product longer and become more actively involved in the information search and decision-making process [4]. The authors conclude that flow is an important element in the formation of subjective usefulness in the digital environment.

The study by Jin, Kim and Moore analyzes the impact of virtual reality on the emotional state of consumers [5]. The results of the study show that the VR experience promotes deeper emotional engagement and increases the attractiveness of the perceived environment compared to traditional methods of interaction. The authors conclude that immersive technologies enhance the emotional component of perception, which, in turn, affects the formation of consumer preferences.

In the work devoted to the study of consumer behavior in online shopping, the influence of individual components of the information flow on consumer information behavior is considered

[6]. As a result of the study, it was found that the concentration of information enhances the search activity of consumers, while the pleasure of the process can reduce it. This indicates the heterogeneity of the effects of the information flow. It is possible to draw a conclusion about the complex structure of the influence of the information flow on consumer behavior.

An analysis of the scientific literature shows that most studies recognize the crucial role of flow perception in the process of immersion in consumption. The flow acts as a bridge between the technological environment and consumer behavior, influencing subjective usefulness, emotional reactions, and preference formation. However, despite the growing volume of research, some significant limitations remain poorly understood.

First, existing research focuses mainly on satisfaction, engagement, and purchase intention, paying little attention to the dynamic nature of consumer preferences and their evolution under the influence of immersion. In modern literature, preferences are often viewed as stable outcomes rather than as flexible and context-dependent constructs formed as a result of psychological immersion.

Secondly, most previous studies have analyzed flow mainly from a technical or marketing point of view, paying special attention to interface features and user engagement indicators. The psychological and economic mechanisms by which flow affects subjective utility and decision-making are poorly understood in the field of behavioral economics.

Thirdly, although many studies consider flow as an intermediary between technology and consumer reaction, this study suggests a more comprehensive approach, considering it as a mechanism that can restructure the process of preference formation itself. This study proves that immersive consumption not only enhances pleasure or engagement, but also changes the way consumers evaluate value, make decisions, and construct their subjective usefulness in a digital environment.

The scientific contribution of this study is to combine the concepts of immersive consumption, streaming experience, and behavioral economics into a single analytical framework. This approach differs from existing research in that it interprets subjective usefulness as a dynamic psychological and economic process influenced by emotional and cognitive immersion in an immersive digital environment. The proposed framework extends traditional behavioral economic models, recognizing the instability and variability of consumer preferences in these conditions.

The literature review confirms the relevance of studying immersive consumption and information flow, and also identifies gaps in the modern understanding of behavioral mechanisms influencing consumer decision-making in these contexts. This justifies the need for further research in this area.

### **Research methodology**

Within the framework of this study, it is proposed to apply an integrated approach combining two complementary methods: behavioral data analysis in a digital environment and qualitative analysis of in-depth semi-structured interviews.

The integration of these methods makes it possible to investigate both the observed behavioral manifestations of immersive consumption and the underlying psychological mechanisms underlying the formation of subjective value and consumer preferences.

This approach corresponds to the interdisciplinary nature of behavioral economics, where economic decisions are considered through the prism of the interaction of cognitive, emotional and contextual factors.

The research is based on three fundamental aspects: flow experience, subjective usefulness, and consumer preferences. The experience of flow acts as an independent variable, while subjective usefulness is a dependent variable. Consumer preferences and behavioral intentions act as outcome variables reflecting the impact of immersion in the process on economic behavior.

Within the framework of this study, the feeling of flow is understood as a state of deep cognitive and emotional involvement during interaction with digital environments that have a high degree of exciting potential. These environments include virtual reality platforms, augmented reality applications, video games, streaming services, and interactive media.

Flow measurement is based on both behavioral and subjective criteria. Behavioral criteria include the duration of continuous sessions, a reduction in the number of task switches, an increase in the intensity of interaction, the frequency of repeated use of the platform, continuity of navigation, and a voluntary increase in interaction time. These criteria reflect a high level of concentration and immersion in the digital environment.. Subjective flow indicators are identified by analyzing the responses during interviews, in which respondents describe a loss of sense of time, emotional involvement, complete concentration on the activity being performed, a decrease in the ability to self-reflect and a feeling of "immersion" in what is happening.

The second key variable, subjective usefulness, is considered in the framework of this study as the perceived value, emotional satisfaction and personal significance obtained as a result of immersion in consumption.

Unlike traditional economic approaches that define utility as a stable and rational category, in this study, subjective utility is conceptualized as a dynamic psychological and economic construct formed by emotional engagement and immersion experience.

Subjective usefulness is measured using indicators such as perceived pleasure, emotional satisfaction, willingness to continue using the platform, intention to recommend the product to others, emotional attachment to the digital environment, and the stability of recurring consumer choices.. In the process of behavioral analysis, subjective usefulness is indirectly assessed through the prism of observed actions, such as repeated use of the platform, longer interaction sessions, consistency in product selection, and regular consumption of immersive content.

In the course of qualitative interviews, subjective usefulness is examined based on the personal assessments of the respondents, who express their opinion about the significance, emotional value and psychological impact of their immersive experience.

The first research method consists in analyzing behavioral data obtained as a result of user interaction with immersive technologies. This method belongs to the field of data-driven behavioral analytics and allows you to focus on real consumer behavior rather than declarative attitudes.

The analysis includes behavioral indicators related to immersive interaction and flow, such as session length, frequency of returns, depth of navigation, intensity of interaction, repetitive selection, and patterns of continuous use of the platform. These indicators are analyzed using correlation and econometric analysis to identify statistical relationships between the level of immersion, the feeling of flow, subjective usefulness and the formation of stable consumer preferences.. In the course of the research, clustering methods can additionally be used to classify users depending on the degree of their involvement and the stability of preferences. The advantage of this approach lies in its ability to capture real-world behavioral patterns and minimize cognitive distortions that often occur when respondents respond to a survey.

The second research method is a qualitative analysis of semi—structured in-depth interviews, the purpose of which is to study the subjective interpretation of consumer experience with an immersive effect. The interviews involve users who have experience interacting with virtual environments, augmented reality applications, gaming platforms, streaming services, and other immersive digital products.

The interviews focus on emotional engagement, perception of flow, intensity of immersion, a sense of the usefulness of the experience, emotional attachment to digital products, and the reasons behind the consumer's constant choices. Particular attention is paid to how respondents perceive their decisions.: as rational or as a result of emotional immersion in the

process.. The collected qualitative data is processed using thematic analysis, which includes coding, categorization, identification of recurring themes, and interpretation of cognitive and emotional patterns associated with preference formation.

Thus, the combination of behavioral data analysis and in-depth interviews provides a comprehensive methodological framework for the study of immersive consumption from the point of view of behavioral economics. Behavioral analytics allows us to capture objective manifestations of the flow and formation of preferences in the digital environment, while high-quality interviews reveal internal emotional and cognitive mechanisms that form subjective usefulness. These methods make it possible to link the observed economic behavior with the psychological processes taking place in immersive digital ecosystems, and to better understand how the flow experience influences the formation of consumer preferences.

### **Results and discussion**

Within the framework of this study, the results and discussion section is aimed at analyzing and interpreting the relationship between the level of immersive consumption, the feeling of flow and the formation of user preferences.

In accordance with the goals set and the chosen methodology, the analysis includes both the observed behavior of users in digital environments and their subjective assessments of the experience gained. This approach allows us to compare objective indicators of engagement with internal psychological mechanisms that underlie the subjective perception of usefulness. The results of the study demonstrate that an increase in the level of immersiveness leads to an increase in behavioral engagement, which is expressed in longer sessions, more frequent returns and the stability of choice.

These observations are consistent with the theoretical propositions outlined in the introduction and the literature review, according to which the flow experience enhances the subjective value of the consumption process.

Behavioral analysis data also indicate that preferences are formed not only on the basis of expected usefulness, but also under the influence of experience, which reflects the key ideas of behavioral economics about the contextual and affective nature of decision-making. The results of in-depth interviews complement the quantitative data, allowing a deeper understanding of the subjective aspect of immersive experience. Respondents note that the flow condition leads to a decrease in critical evaluation of alternatives and increased emotional attachment to the chosen product or medium. This helps to consolidate preferences and generate repeat purchases. The discussion of the results suggests that immersive experience acts not only as a factor of short-term engagement, but also as a mechanism for long-term preference formation mediated by psychological usefulness.

Taken together the results confirm the hypothesis that experiencing the flow is a significant factor linking the characteristics of an immersive environment with the economic behavior of individuals. This expands existing ideas about the nature of subjective usefulness in the digital economy.

Continuing the study of the method of analyzing user behavioral data in digital immersive environments, it is necessary to clarify its theoretical and methodological basis and consider its application in modern research on streaming experience and behavioral economics.

This method belongs to the field of data-driven behavioral analytics, where the main source of information is digital user footprints [7]. In the context of immersive consumption, this method allows us to capture not subjective assessments, but real patterns of behavior that arise in the process of interacting with digital platforms. This is especially important in the framework of flow theory, since a state of full engagement is often accompanied by a change in time perception, a decrease in cognitive control, and an increase in automated interaction, which is

directly reflected in behavioral metrics such as the duration of continuous sessions, depth of navigation, and frequency of repeated interactions.

Modern research shows that the flow state in a digital environment can be operationalized through a set of behavioral indicators such as concentration of attention, reduction of distractions, and increased internally motivated interaction with the system. For example, research on online and mobile user behavior shows that the flow experience is closely related to increased interaction time and increased intent to reuse the platform, making it a key predictor of sustainable consumer behavior [8].

In immersive environments such as AR/VR, gaming platforms, and interactive services, it has been found that a higher level of technological engagement enhances the flow state, which in turn influences users' cognitive, emotional, and behavioral responses, including purchasing intentions and brand preferences [9].

From a methodological point of view, behavioral data analysis is usually carried out using econometric models and machine learning algorithms. At the first stage, data about user actions is collected, such as session time, sequence of actions, clicks, returns, and selections. Regression analysis methods are then used to identify a statistical relationship between the level of immersion in the environment and indicators of engagement and preferences. More complex approaches include clustering users by type of behavior, which makes it possible to identify groups with varying degrees of inclination to immerse themselves in the stream and form stable preferences. An important feature of this method is its ability to capture real preferences rather than declared attitudes. This is especially important for behavioral economics, where it is known that subjective survey data is often subject to cognitive distortions. In contrast, digital traces of behavior make it possible to reconstruct the actual decisions of users in conditions of a high degree of immersion, thereby more accurately assessing subjective usefulness through observed behavior.

The method of behavioral data analysis provides an empirical basis for studying the relationship between flow experience and preference formation, allowing us to move from descriptive psychological models to measurable behavioral patterns in digital immersive ecosystems.

Within the framework of this study, the qualitative analysis of in-depth interviews is a key method for studying the subjective interpretation of immersive consumption and its impact on the formation of preferences. Methodologically it is based on an interpretive approach, according to which user behavior in a digital environment cannot be fully explained by quantitative indicators alone but requires an analysis of subjective meanings, emotions, and cognitive interpretations of experience.

Semi-structured interviews allow the researcher to achieve a balance between the focus of the research and the freedom of expression of the respondents. In the context of immersive consumption, which includes VR, AR, gaming platforms, and streaming services, special attention is paid to aspects such as experiencing flow, emotional engagement, presence, and cognitive distortion of time perception.

Modern research on VR experiences shows that users often describe immersive environments as a state of "being inside the experience," where the line between observation and participation blurs, which enhances the emotional response and subjective value of the experience [10].

This is followed by an analysis of the interviews obtained using thematic analysis, which includes the following steps: data familiarization, coding, categorization, topic selection and interpretation. This approach allows us to identify stable perception patterns related to the formation of preferences.

An example of the use of in-depth interviews in immersive experience research is work in the field of VR education and simulations. The participants described their experiences as a



combination of "reality and virtuality at the same time." In one of the major qualitative studies of VR learning, respondents noted that immersive VR reduces social pressure, increases confidence and creates a sense of a safe space for mistakes which directly enhances engagement and the effect of learning through practice.

It is especially important that the participants regularly described the transition to the flow state, which is characterized by: full concentration on the task at hand, loss of a sense of time, reduced self-reflection, emotional immersion. VR gameplay research has found that users go through various phases of engagement, including adaptation, increased presence and sustained enjoyment. These phases shape long-term preferences for certain digital environments [11].

In applied research related to VR interviews, it has been shown that immersive interviews allow for deeper and more emotionally intense responses compared to traditional online interviews. This is due to the fact that the respondents are inside the context of the experience, rather than remembering it afterwards [12].

Table 1. Recent empirical studies on immersive experience, flow state, and qualitative interview methods.

| Study                                                     | Method                             | Data                          | Main Contribution                                                         |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Immersive VR experiences in education (systematic review) | Thematic synthesis                 | 45 qualitative studies        | VR enhances flow, confidence, and emotional engagement                    |
| VR user experience in immersive environments              | In-depth interviews + observation  | VR gameplay participants      | Identified dynamic stages of flow and presence                            |
| VR in qualitative market research                         | Immersive interviews (XR/VR-based) | Consumer interview sessions   | VR interviews produce deeper emotional and experiential insights          |
| Flow experience in immersive media environments           | Qualitative + SEM studies          | VR/AR users                   | Flow mediates the relationship between immersion and behavioral intention |
| VR gaming experience and emotional response               | Mixed-method design                | Experimental + interview data | VR increases emotional intensity and physiological arousal                |
| Digital immersion and consumer behavior                   | Qualitative UX research            | Platform users                | Immersion significantly shapes the formation of stable preferences        |

Compiled by the author based on the data.

The method of in-depth interviews in the context of immersive consumption allows us to identify not only cognitive, but also emotional and affective mechanisms of preference formation. Unlike behavioral data that captures user actions, this method allows us to understand why these actions are performed, revealing the internal structure of the flow experience, subjective usefulness, and emotional attachment to digital environments.

This makes qualitative interview analysis a critically important element of the behavioral economic study of immersive consumption, as it allows one to interpret observed behavior through the lens of human experience.



## Conclusion

The study revealed a correlation between immersive consumption, flow experience, and the formation of consumer preferences from the point of view of behavioral economics. The use of quantitative methods of behavioral data analysis and qualitative methods such as in-depth interviews has provided a comprehensive understanding of how the digital immersive environment affects individuals' subjective usefulness and subsequent decisions.

The study found that immersive consumption is not a passive perception of content, but an active cognitive-emotional interaction of the user with the environment.

From the point of view of behavioral data, immersive platforms contribute to an increase in interaction time, increased engagement and repeated requests, which can be interpreted as a manifestation of an enhanced flow experience. These data confirm the position of behavioral economics that preferences are formed not only before consumption, but also during interaction with the product under the influence of context, emotions and cognitive load.

A qualitative analysis of in-depth interviews allowed us to supplement the results obtained and reveal that users perceive the immersive experience as a state of high emotional engagement, in which critical thinking of alternatives temporarily decreases and the subjective value of the current experience increases.

A particularly important result was the identification of the fact that the state of flow is perceived by respondents as a factor that strengthens attachment to digital platforms and forms stable preferences that persist even after the end of interaction. preferences turn out to be not only rationally formed, but also emotionally "fixed" through the immersion experience. Summarizing the results of the study, we can conclude that it expands the understanding of subjective usefulness. The study shows the dependence of subjective usefulness on the level of immersiveness of the environment and the intensity of the flow experience.

Immersive consumption acts not only as a form of digital interaction, but also as a mechanism of cognitive and emotional impact on the decision-making process. This is especially important in today's digital economy, which is based on retaining user attention and providing a personalized experience.

The research results have practical implications for digital platforms, content developers, and marketing strategies. They allow you to better understand how to structure an immersive experience to increase user engagement and build long-term loyalty. Enhancing the elements of interactivity, personalization, and feedback can contribute to a deeper immersion in the flow experience, which in turn increases the subjective value of the product. The future of this topic is connected with the development and integration of behavioral economics, neuroscience and digital technologies.

Particularly promising areas are real-time data analysis using artificial intelligence, the use of neural interfaces to track the user's cognitive states, as well as the development of adaptive immersive systems capable of adapting to the level of engagement and the emotional state of an individual. This will allow you to move from describing behavior to predicting and managing it in real time.

The study shows that immersive consumption is a key factor influencing the changing behavioral patterns of modern consumers. The flow experience acts as the main mechanism for forming preferences in the digital environment. The prospects for further research are related to a more accurate measurement of subjective usefulness and the development of new models that take into account the emotional and cognitive nature of decision-making in conditions of high digital immersion.

## References

1. Abuhamdeh S. Investigating the “flow” experience: Key conceptual and operational issues //Frontiers in psychology. – 2020. – T. 11. – P. 158.
2. Esteban-Millat I. et al. The concept of flow in online consumer behavior //Handbook of strategic e-business management. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013. – P. 371-402.
3. Chen Y., Lin C. A. Consumer behavior in an augmented reality environment: Exploring the effects of flow via augmented realism and technology fluidity //Telematics and Informatics. – 2022. – T. 71. – P. 101833.
4. Xu L. et al. A novel application of flow theory to mobile augmented reality //Technological Forecasting and Social Change. – 2025. – T. 221. – P. 124359.
5. Jin, B., Kim, G., Moore, M. et al. Consumer store experience through virtual reality: its effect on emotional states and perceived store attractiveness. Fash Text 8, 19 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00256-7>
6. Wang L., Wang S. The influence of flow experience on online Consumers' information searching behavior: An empirical study of Chinese college students //Data and Information Management. – 2020. – T. 4. – №. 4. – P. 250-257.
7. Wu T., Tien K. Y. An empirical study on the effectiveness of e-commerce entrepreneurial learning: The mediating effect of social media flow experience //Sage Open. – 2024. – T. 14. – №. 2. – P. 21582440241261131.
8. Duy N. B. P., Nguyen V. T. T., Khoa B. T. From flow experience determinants to user behavior: A study on online food ordering platforms via mobile applications //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2025. – T. 11. – №. 2. – P. 100551.
9. Chen Y., Lin C. A. Consumer behavior in an augmented reality environment: Exploring the effects of flow via augmented realism and technology fluidity //Telematics and Informatics. – 2022. – T. 71. – P. 101833.
10. Wan C. K., Chiu C. H. A process perspective of immersive virtual reality user experiences: Transition dynamics and mechanisms during gameplay //International Journal of Human-Computer Studies. – 2023. – T. 176. – P. 103037.
11. Odame-Amoabeng S. et al. Immersive insights: A qualitative systematic review and thematic synthesis of views, experiences, health and wellbeing of students and educators using virtual reality in nursing and midwifery education //Nurse education today. – 2025. – T. 150. –P. 106679.
12. Farhat Z. Exploring Virtual Reality (VR) and Extended Reality (XR) in market research: A case study of FFIND’s immersive interview solutions //Journal of Information Technology Teaching Cases. – 2026. – P. 20438869261423222.

# EFFECTIVE INCENTIVE STRATEGIES FOR GENERATION Z EMPLOYEES: AN ANALYSIS OF NEEDS AND PRACTICAL SOLUTIONS

**Su Zihao**

EMBA, Al-Farabi Kazakh National university, Farabi international business school

**Kupeshova Saule**

Candidate of Economic Sciences (PhD equivalent), Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University

## **Introduction**

The relevance of this study is due to the rapid changes in the labor market, as well as an increase in the proportion of generation Z employees who are actively shaping the modern work environment.

Representatives of Generation Z have specific values, expectations, and behaviors that differ from previous generations. They are focused on flexibility, rapid career growth, digitalization of processes, work-life balance, as well as meaningful and meaningful activities. In this regard, traditional methods of staff motivation are becoming less effective, which requires the development of new incentive strategies that take into account the characteristics of generation Z.

The scientific novelty of the research lies in the systematization and clarification of the key motivational factors characteristic of generation Z in the context of the modern organizational environment. The study also suggests a practice-oriented approach to the formation of a hybrid incentive system that combines tangible and intangible tools with an emphasis on digital and personalized engagement mechanisms. The purpose of the study is to identify and substantiate the most effective incentive strategies for Generation Z employees based on an analysis of their needs and work behavior characteristics.

To achieve this goal, the following tasks were defined: analysis of theoretical approaches to staff motivation and stimulation in modern organizations; identification of the key needs and value orientations of Generation Z employees that affect their work motivation; development of practical recommendations for the formation of effective incentive strategies adapted to the characteristics of generation Z.

The research question is as follows. What incentive methods are most effective for increasing the engagement and effectiveness of Generation Z employees in modern organizations?

The logic of the research is based on the analysis of the theoretical foundations of staff motivation and the characteristics of generation Z, identifying their key needs and developing practical solutions aimed at improving the effectiveness of incentive systems in organizations.

## **Literature review**

The issue of motivation of generation Z employees is an urgent subject of research in modern foreign scientific literature. This is due to the fact that representatives of this cohort are gradually becoming the main force in the labor market. This review examines the work of five researchers: Jean M. Twenge, David Goh, Carolyn A. Francis, Stuart A. Lyons, and Benedikt Scholz.

A study by Jean M. Twenge, conducted between 2017 and 2023, shows that Generation Z is focused on individual values, the digital environment, and psychological well-being [1]. The author comes to the conclusion that traditional motivation systems based solely on financial

incentives are losing their effectiveness, as young employees value flexibility, autonomy and the meaning of work.

The work of David Goh analyzes the factors influencing the involvement of Generation Z employees [2]. The author notes that the main motivators for this age group are career opportunities, professional training and development, as well as receiving feedback from management.

The Schroth study notes that members of Generation Z value flexible working conditions, structured management, and regular feedback, which have a direct impact on their motivation and desire to stay in the organization [3].

Barhate and Dirani note that Generation Z workers place a high value on rapid career progression, ongoing learning opportunities, and flexible work arrangements, while also seeking a digitally integrated work environment [4].

Based on the studies reviewed, it can be concluded that the motivation of Generation Z employees is formed under the influence of various factors, including non-material aspects such as personal development, flexibility, the digital environment, recognition and meaningfulness of work. Financial incentives also play an important role, but they are not decisive.

This literature review allows us to identify key areas for further research, including the need to develop hybrid motivation systems that combine career development, flexible working conditions, and digital engagement tools. These aspects correspond to the goals and objectives of this work.

### **Research methodology**

Within the framework of this study, two complementary methods are used to achieve this goal.

First, it is a method of theoretical analysis and systematization of scientific literature, which includes the study and generalization of existing research on the motivation of employees of generation Z. This method allows us to identify key approaches, incentive factors and contradictions in scientific sources, which contributes to the formation of a holistic view of the problem and the definition of the main directions for further analysis.

Secondly, a comparative analysis method is used, which aims to compare the motivation and expectations of generation Z with other generations of workers. This method also allows us to identify differences between material and non-material incentive factors, which contributes to a more accurate definition of the specifics of motivational preferences of generation Z and substantiation of practical recommendations for the formation of effective HR strategies in modern organizations.

### **Results and discussion**

Within the framework of this study, a theoretical analysis and systematization of scientific literature was carried out, representing a complex stage of scientific research. The purpose of this stage is an in-depth study and generalization of existing academic and applied works on the motivation of Generation Z employees.

To achieve this goal, a consistent collection of sources from scientific databases was carried out. Then, a critical analysis of the collected sources was carried out, as a result of which key concepts such as internal and external motivation, the digital work environment, value orientations and employment flexibility were highlighted.

A comparison of various scientific schools was also conducted, such as the behavioral approach, the theory of self-determination by E. Deci and R. Ryan, as well as the two-factor theory of F. Herzberg's works were reviewed, and the identified motivation factors were systematized into a single analytical model. This allowed not only to structure disparate data, but also to identify contradictions, for example, between the priority of financial stability and the desire for meaningful work among representatives of generation Z. A methodological basis was formed for

further empirical analysis and development of recommendations in the field of personnel management. The main sources and their contributions are presented in the following systematized table.

Table 1. Theoretical Foundations and Key Elements for Analyzing Generation Z's Work Motivation.

| Main Approach                           | Key Ideas                                                  | Significance for Generation Z Motivation Analysis                           |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Psychological motivation theory         | Autonomy, competence, and relatedness as basic human needs | Explains Gen Z's preference for autonomy, flexibility, and meaningful tasks |
| Organizational psychology               | Hygiene factors vs. motivators                             | Distinguishes salary (hygiene) from meaningful work (motivator)             |
| Generational studies                    | Digitalization, reduced face-to-face interaction           | Describes Gen Z's digital-native behavior and tech expectations             |
| HR and workplace research               | Flexibility, work-life balance                             | Confirms high importance of work-life balance for Gen Z                     |
| Educational & organizational psychology | Practicality, individuality, social responsibility         | Shows Gen Z focus on purpose-driven and practical work                      |

Compiled by the author based on the data [5-10].

This method provides a scientifically based structuring of the theoretical research base. It allows you to integrate classical motivational theories with modern generational research. This forms the basis for the subsequent comparative analysis and development of practical HR tools aimed at effectively managing the motivation of Generation Z employees.

The use of the method of theoretical analysis and systematization of scientific literature makes it possible to ensure a high level of reliability and validity of conclusions, since all formulated provisions are based on proven academic research and recognized scientific concepts. This makes it possible to minimize the subjectivity of interpretations and provide a holistic understanding of the factors influencing the behavioral and professional attitudes of representatives of generation Z in the modern digital economy. In practical application, this method contributes to the creation of a systematic knowledge base necessary for the development of effective HR strategies aimed at attracting, retaining and developing Generation Z employees. The theoretical generalizations obtained as a result of the application of this method can be used in the development of non-material motivation programs, flexible employment models, feedback systems and career development. This, in turn, increases the adaptability of organizations to changes in the labor market and helps to increase the involvement and productivity of young professionals.

A comparative analysis of the motivational preferences of managers in various fields was conducted using empirical research, in which a questionnaire survey was conducted. The study involved 80 respondents representing four age groups: Generation Z, millennials, Generation X, and baby boomers. The sample was based on accessibility principles and included individual leaders from organizations involved in services, education, and business.

The methodological basis of the analysis consisted of a questionnaire survey, which included questions aimed at identifying key factors influencing work motivation. Among them, the level of dividend pay, flexibility of work schedule, career opportunities, feedback, corporate culture, digital environment and social innovation of work were considered. The respondents'

responses were evaluated on an innovation scale (from 1 to 5), which made it possible to quantify the motivational priorities of various phenomena.

A five-point Likert scale was used as part of empirical research on the study of motivational factors affecting various employees. This scale allows us to assess how innovative these factors are for respondents, as well as to identify differences in perception between generations.

Each participant in the study was asked to evaluate seven key factors of work motivation:

1. Salary level.
2. Flexible work schedule.
3. Remote work capability.
4. Career growth and development.
5. Regular feedback.
6. Corporate culture.
7. Feelings and passion.
8. Stability of stay.
9. Social initiative of work.

The assessment was based on the following scale:

- 1 point is not important at all
- 2 points is probably not important.
- 3 points — neutral or difficult to evaluate
- 4 points is important
- 5 points is very important

The data was tabulated on a five-point Likert scale, which allowed for a comparative analysis of the opinions of leaders from different generations: generation Z, millennials, generation X, and baby boomers. The table shows the reasons why consistent motivation may be disrupted between generations. Specific reactions to stimulating factors were identified in each age group, which confirms the presence of differences in perception between generations (table 1).

Table 1 – Survey results

| <b>Motivational factors</b>            | <b>Generation Z</b> | <b>Millennials</b> | <b>Generation X</b> | <b>Baby Boomers</b> |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Level of salary</b>                 | 4.1                 | 4.5                | 4.7                 | 4.6                 |
| <b>Work schedule flexibility</b>       | 4.9                 | 4.3                | 3.8                 | 3.2                 |
| <b>Remote work opportunities</b>       | 4.8                 | 4.2                | 3.5                 | 2.8                 |
| <b>Career growth and development</b>   | 4.6                 | 4.5                | 4.0                 | 3.6                 |
| <b>Regular feedback</b>                | 4.7                 | 4.2                | 3.7                 | 3.3                 |
| <b>Corporate culture</b>               | 4.5                 | 4.4                | 4.4                 | 4.1                 |
| <b>Engagement and interest in work</b> | 4.6                 | 4.3                | 4.0                 | 3.7                 |
| <b>Employment stability</b>            | 3.4                 | 4.2                | 4.8                 | 4.9                 |
| <b>Social significance of work</b>     | 4.3                 | 4.2                | 3.9                 | 3.5                 |

Source: compiled by author

The analysis of the data presented in the table revealed the unique motivational preferences of representatives of different generations. This, in turn, contributes to a deeper understanding of differences in the structure of work motivation.

Generation Z, in particular, demonstrates a pronounced focus on intangible factors. The highest marks were obtained according to the following criteria: flexible work schedule (4.9), the possibility of remote work (4.8) and regular feedback (4.7). Career development is also an

important aspect (4,6). The salary level, although it has a moderately high value (4.1), is not the dominant motivator.

Employment stability is of the least importance for this group (3.4), which indicates a willingness to move and change working conditions.

Millennials have a balanced approach to motivation. For them, both material and non-material aspects of work are important. Among them, the following stand out:

- The salary level, which they estimated at 4.5;
- Career development, rated 4.5;
- Corporate culture, rated 4.4;
- Flexible work schedule, which received a 4.3 rating.

These results reflect the desire of this group to find a balance between stable income and opportunities for professional growth.

Representatives of generation X, unlike millennials, are more focused on stability and financial security. For them, factors such as:

- Employment stability, estimated at 4.8;
- Salary level, estimated at 4.7;
- Corporate culture, rated 4.4.

At the same time, the flexibility of the work schedule and the possibility of remote work are not so important for representatives of generation X. This reflects their commitment to traditional forms of employment.

Representatives of the baby boomer generation show the greatest interest in job stability (4.9 points) and financial security (4.6 points). At the same time, their priorities in career growth (3.6 points), the ability to work remotely (2.8 points) and flexible work schedule (3.2 points) are relatively more modest. This indicates that for this group of people, long-term stability, social guarantees and predictability of working conditions are the most important factors in choosing a career.

The theoretical analysis and systematization of scientific literature made it possible to form a holistic view of the motivational characteristics of generation Z employees and identify key scientific approaches explaining their work behavior.

The results of the study showed that the motivation of generation Z is complex and multidimensional, combining both internal and external stimuli.

A comparison of different theoretical schools has shown that the theory of self-determination developed by E. Deci and R. Ryan is the most explanatory for understanding the behavior of generation Z. According to this theory, the basic needs for autonomy, competence, and connectedness directly shape the level of intrinsic motivation. This is confirmed by Generation Z's desire for autonomy, workflow flexibility, and fulfilling meaningful tasks of social or personal value.

At the same time, the analysis of F. Herzberg's two-factor theory of motivation made it possible to divide motivational factors into two categories: hygienic (for example, wages and working conditions) and motivating (recognition, development, meaning of work).

In the context of generation Z, it was revealed that hygiene factors play the role of basic conditions, but cannot ensure long-term engagement. At the same time, motivators related to the development and understanding of the meaning of work play a key role in the formation of job satisfaction.

The systematization of research on the digital transformation of the working environment has shown that representatives of generation Z are highly adaptable to digital technologies and expect their active use in personnel management. This highlights the importance of the digital work environment as one of the key motivating factors.



Research on work-life balance also confirms its key role for Generation Z. This is due to their desire for flexible forms of employment and the desire to maintain psychological well-being.

At the same time, works in the field of organizational psychology emphasize the increasing importance of individuality, social responsibility and the practical orientation of work. This, in turn, increases motivation through awareness of the meaning of the work performed.

The analysis revealed a significant contradiction between traditional approaches to motivation, which focus on financial stability and long-term employment, and the modern expectations of generation Z, which are associated with flexibility, development and the semantic value of work.

This contradiction requires a revision of classical HR models and a transition to more flexible and personalized HR management strategies.

Thus, the results of the theoretical analysis allowed not only to streamline existing scientific approaches, but also to create a methodological basis for further practical research. Its purpose is to test the identified patterns in practice and develop effective incentive strategies for Generation Z employees.

### **Conclusion**

A study aimed at studying effective methods of motivating Generation Z employees was conducted taking into account their needs. As a result, comprehensive data has been obtained that has both theoretical and practical value.

Theoretically, the work helps to deepen the understanding of the characteristics of the labor motivation of generation Z. It systematizes and combines the key provisions of various theories of motivation, such as the theory of self-determination by E. Deci and R. Ryan, as well as the two-factor theory by F. Herzberg. This allows us to better understand the role of internal and external motivation factors and emphasize the importance of non-material incentives such as autonomy, flexibility, development and the meaning of work.

The study expands existing theoretical knowledge in the field of organizational psychology and personnel management, offering a more modern understanding of the motivational behavior of young employees.

The results of the study can be useful in shaping HR strategies in companies aimed at attracting and retaining Generation Z employees.

Based on the obtained motivation data, it is possible to propose the introduction of flexible forms of employment, the development of a digital work environment, regular feedback, as well as the creation of individual career development programs.

The focus on non-material aspects of motivation allows companies to increase employee engagement without significantly increasing financial investments, which is especially valuable in highly competitive labor markets.

Further research in this area may be aimed at expanding the empirical base. This can be done by increasing the sample and including representatives from different countries and industries. This approach will make the results more generalized.

Another promising direction is to study how the motivational preferences of generation Z change in the long term. In addition, it is possible to explore how artificial intelligence and automation affect the structure of work motivation.

Another possible direction is comparative research between generation Z and subsequent generations. This will help predict future changes in the HR management system.

Thus, this study lays the foundation for the development of motivation theory and offers practical tools for more effective personnel management in modern organizations.

## References

1. Twenge J. M. et al. Generational differences in work values: Leisure and extrinsic values increasing, social and intrinsic values decreasing //Journal of management. – 2010. – T. 36. – №. 5. – P. 1117-1142.
2. Benítez-Márquez M. D. et al. Generation Z within the workforce and in the workplace: A bibliometric analysis //Frontiers in psychology. – 2022. – T. 12. – P. 736820.
3. Schroth H. Are you ready for gen Z in the workplace? //California management review. – 2019. – T. 61. – №. 3. – P. 5-18.
4. Rice B, Martin N, Fieger P, Hussain T (2022), "Older healthcare workers' satisfaction: managing the interaction of age, job security expectations and autonomy". Employee Relations: The International Journal, Vol. 44 No. 2 pp. 319–334.
5. Deci E. L., Ryan R. M. Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health //Canadian psychology/Psychologie canadienne. – 2008. – T. 49. – №. 3. – P. 182.
6. Alshmemri M., Shahwan-Akl L., Maude P. Herzberg's two-factor theory //Life Science Journal. – 2017. – T. 14. – №. 5. – P. 12-16.
7. Sozańska D. Jean M. Twenge (2017) iGen: Why Today's Super-Connected Kids Are Growing Up Less Rebellious, More Tolerant, Less Happy—and Completely Unprepared for Adulthood—and What That Means for the Rest of Us, Atria Books: New York, London, Toronto, New Delhi [Kindle edition] //Homo et Societas. Wokół Pracy Socjalnej. – 2018. – №. 3. – P. 124-126.
8. Böhlich S., Axmann R. Generation Z: A comparative study of the expectations of Gen Z and the perception of employers. – IUBH Discussion Papers-Human Resources, 2020. – №. 1/2020.
9. Seemiller C., Grace M. Generation Z goes to college. – John Wiley & Sons, 2016.
10. Lyons S., Kuron L. Generational differences in the workplace: A review of the evidence and directions for future research //Journal of organizational behavior. – 2014. – T. 35. – №. S1. – P. S139-S157.

# XARİCİ VALYUTA MƏZƏNNƏLƏRİNİN İDARƏ OLUNMASI VƏ MAKROİQTİSADI SABİTLİYƏ TƏSİRİ

Axundlu Musa Arif oğlu

Magistrant, Azərbaycan Dövlət Neft Və Sənaye Universiteti

## XÜLASƏ

Xarici valyuta məzənnəsi müasir iqtisadi münasibətlər sistemində mühüm yer tutur. O, sadəcə bir valyutanın digər valyuta ilə dəyişdirilmə nisbəti deyil, həm də ölkənin iqtisadi vəziyyətini, xarici ticarət imkanlarını, maliyyə sabitliyini və bazar iştirakçılarının gözləntilərini əks etdirən əsas göstəricilərdən biridir. Valyuta məzənnəsində baş verən dəyişikliklər idxal və ixrac qiymətlərinə, inflyasiyaya, investisiya mühitinə və əhəlinin alıcılıq qabiliyyətinə birbaşa təsir göstərir. Qloballaşma şəraitində valyuta məzənnəsinin idarə olunması daha da mürəkkəbləşmişdir. Kapital axınlarının sürətlənməsi, beynəlxalq ticarətin genişlənməsi, enerji qiymətlərindəki dəyişikliklər və qlobal maliyyə bazarlarında yaranan qeyri-sabitlik ölkələrin məzənnə siyasətinə ciddi təsir edir. Bu səbəbdən valyuta məzənnəsinin sabitliyi yalnız maliyyə sahəsinin deyil, bütövlükdə milli iqtisadi təhlükəsizliyin əsas istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilir. Məqalədə xarici valyuta məzənnəsinin iqtisadi mahiyyəti, onun formalaşmasına təsir edən əsas amillər, məzənnə rejimləri və idarəetmə mexanizmləri təhlil edilir. Xüsusilə Azərbaycan kimi enerji gəlirlərindən asılı iqtisadiyyatlarda valyuta məzənnəsinin sabitliyinin qorunması makroiqtisadi tarazlığın təmin edilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

**Açar sözlər:** valyuta məzənnəsi, məzənnə siyasəti, makroiqtisadi sabitlik, valyuta bazarı, inflyasiya, kapital axınları, Azərbaycan iqtisadiyyatı

## GİRİŞ

Müasir dövrdə ölkələrin iqtisadi inkişafı yalnız daxili istehsal və istehlak göstəricilərindən asılı deyil. Dünya iqtisadiyyatına inteqrasiya, xarici ticarət əlaqələri, investisiya axınları və beynəlxalq maliyyə bazarları milli iqtisadiyyatların fəaliyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bu proseslərin mərkəzində isə xarici valyuta məzənnəsi dayanır. Çünki hər bir ölkənin xarici bazarlarda iştirak etməsi, idxal və ixrac əməliyyatları aparması, xarici borc və investisiya münasibətlərinə qoşulması valyuta məzənnəsi ilə sıx bağlıdır. Valyuta məzənnəsinin dəyişməsi iqtisadiyyatda çox fərqli nəticələr yarada bilər. Milli valyutanın dəyərdən düşməsi idxal məhsullarının bahalaşmasına və inflyasiya təzyiqinin artmasına səbəb ola bilər. Digər tərəfdən, milli valyutanın ucuzlaşması müəyyən hallarda ixrac məhsullarının xarici bazarlarda daha rəqabətli olmasına şərait yarada bilər. Bu səbəbdən məzənnə dəyişiklikləri birtərəfli qiymətləndirilməməlidir; onların həm müsbət, həm də mənfi nəticələri mövcuddur. Azərbaycan iqtisadiyyatı üçün valyuta məzənnəsi məsələsi xüsusi aktuallıq daşıyır. Ölkənin ixrac gəlirlərində neft-qaz sektorunun mühüm yer tutması milli valyutanın sabitliyini qlobal enerji bazarlarında baş verən dəyişikliklərlə əlaqələndirir. Neft qiymətlərində azalma valyuta daxilolmalarını zəiflədə, bu isə məzənnə üzərində təzyiq yarada bilər. Bu baxımdan valyuta məzənnəsinin səmərəli idarə olunması Azərbaycan üçün makroiqtisadi sabitliyin qorunmasında əsas vasitələrdən biri hesab olunur [2].

## Xarici valyuta məzənnəsinin iqtisadi mahiyyəti

Xarici valyuta məzənnəsi bir ölkənin pul vahidinin digər ölkənin pul vahidi ilə ifadə olunmuş dəyəridir. Məsələn, manatın ABŞ dolları və ya avro qarşısındakı dəyəri valyuta məzənnəsi vasitəsilə

müəyyən edilir. Lakin bu göstərici yalnız texniki mübadilə nisbəti kimi qəbul edilməməlidir. O, ölkənin iqtisadi gücünü, bazar iştirakçılarının milli valyutaya olan etimadını və xarici iqtisadi əlaqələrin vəziyyətini göstərən mühüm iqtisadi alətdir. Valyuta məzənnəsi beynəlxalq ticarətdə qiymətlərin müqayisəsini mümkün edir. Müxtəlif ölkələrdə istehsal olunan malların dəyəri fərqli valyutalarla ifadə edildiyindən, onların dünya bazarında müqayisəsi məzənnə vasitəsilə aparılır [2]. Bu baxımdan valyuta məzənnəsi beynəlxalq qiymət mexanizminin əsas elementlərindən biridir. İdxalçı və ixracatçılar məhsul qiymətlərini, xərclərini və gəlirlilik səviyyəsini məhz məzənnə dəyişikliklərini nəzərə alaraq hesablayırlar.

Eyni zamanda valyuta məzənnəsi iqtisadi qərarların qəbuluna da təsir göstərir. Sahibkarlar, investorlar, banklar və dövlət qurumları məzənnə risklərini nəzərə almadan uzunmüddətli qərarlar qəbul edə bilməzlər. Məzənnədə qeyri-sabitlik artdıqda investisiya qərarları təxirə salına, idxal müqavilələri bahalaşa və bazarda gözləntilər dəyişə bilər. Buna görə də valyuta məzənnəsi iqtisadi sistemdə həm göstərici, həm də təsir mexanizmi kimi çıxış edir [3].

### Valyuta məzənnəsinə təsir edən əsas amillər

Valyuta məzənnəsi bir amilin nəticəsi kimi formalaşmır. Onun səviyyəsi və dinamikası müxtəlif iqtisadi, maliyyə və institusional amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində müəyyən olunur. Bu amillər arasında inflyasiya, faiz dərəcələri, tədiyə balansı, kapital axınları, xarici ticarət strukturu və dövlətin iqtisadi siyasəti xüsusi yer tutur. Inflyasiya valyuta məzənnəsinə təsir edən əsas amillərdən biridir. Əgər ölkədə qiymətlər sürətlə artırsa, milli valyutanın alıcılıq qabiliyyəti azalır. Bu isə uzunmüddətli dövrdə həmin valyutanın xarici valyutalar qarşısında zəifləməsinə səbəb ola bilər. Ona görə də qiymət sabitliyi valyuta sabitliyinin qorunması üçün mühüm şərtlərdən biridir. Faiz dərəcələri də məzənnə üzərində ciddi təsirə malikdir. Yüksək faiz dərəcələri xarici investorlar üçün milli valyutada olan aktivləri daha cəlbedici edə bilər. Bu halda ölkəyə kapital axını arta və milli valyutaya tələb güclənə bilər. Lakin faizlərin həddindən artıq yüksək olması iqtisadi aktivliyi zəiflədə və uzunmüddətli dövrdə mənfi nəticələr yarada bilər [4].

**Cədvəl 1. Valyuta məzənnəsinə təsir edən amillərin sistemləşdirilməsi**

| Amil             | Təsir forması                                          | Mümkün nəticə                                       |
|------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| İnflyasiya       | Milli valyutanın alıcılıq qabiliyyətini azaldır        | Valyutanın zəifləməsi riski artır                   |
| Faiz dərəcələri  | Kapital axınlarına təsir edir                          | Milli valyutaya tələb arta və ya azala bilər        |
| Tədiyə balansı   | Ölkəyə daxil olan və çıxan valyuta axınlarını göstərir | Kəsir məzənnəyə təzyiq yaradır                      |
| Xarici ticarət   | İxrac və idxal nisbətini formalaşdırır                 | İdxalın artması valyuta tələbinə təsir edir         |
| Kapital axınları | İnvestisiya və maliyyə hərəkətlərini əhatə edir        | Qısamüddətli məzənnə dalğalanmaları yarada bilər    |
| Dövlət siyasəti  | Mərkəzi bank və hökumət qərarları ilə bağlıdır         | Məzənnə sabitliyini dəstəkləyə və ya zəiflədə bilər |

Tədiyə balansı valyuta məzənnəsinin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Əgər ölkənin ixrac gəlirləri idxal xərclərindən çoxdursa, valyuta bazarında xarici valyuta təklifi artır və bu, milli valyutanın sabitliyini dəstəkləyə bilər. Əksinə, idxalın çox, ixracın isə zəif olduğu şəraitdə xarici valyutaya tələb artır və milli valyuta üzərində təzyiq yaranır.

Kapital axınları da məzənnə dəyişikliklərində vacib rol oynayır. Xarici investisiyaların ölkəyə daxil olması milli valyutaya tələbi artırır. Lakin global maliyyə bazarlarında risklərin artması və investorların vəsaitlərini geri çəkməsi valyuta bazarında qeyri-sabitliyə səbəb ola bilər. Xüsusilə inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün bu amil daha həssasdır.

Dövlət siyasəti valyuta məzənnəsinin idarə olunmasında mühüm yer tutur. Mərkəzi bank valyuta bazarına müdaxilə edə, faiz siyasətini dəyişə və valyuta ehtiyatlarından istifadə etməklə məzənnə sabitliyini qorumağa çalışa bilər. Lakin bu müdaxilələr davamlı iqtisadi əsaslarla dəstəklənmərsə, uzunmüddətli nəticə verməyə bilər [5].

### Valyuta məzənnəsi rejimləri və onların xüsusiyyətləri

Valyuta məzənnəsinin idarə olunması ölkənin seçdiyi məzənnə rejimindən asılıdır. Ümumilikdə üç əsas məzənnə rejimi fərqləndirilir: sabit məzənnə rejimi, üzən məzənnə rejimi və idarə olunan məzənnə rejimi. Hər bir rejimin üstünlükləri və məhdudiyyətləri vardır. Sabit məzənnə rejimində milli valyutanın dəyəri müəyyən xarici valyutaya və ya valyuta səbətinə bağlıdır. Bu rejim bazarda sabitlik yarada və inflyasiya gözləntilərini azalda bilər. Lakin onun əsas zəif tərəfi ondadır ki, mərkəzi bank məzənnəni qorumaq üçün davamlı valyuta ehtiyatlarına malik olmalıdır. Əgər xarici şoklar güclənərsə, sabit məzənnəni saxlamaq çətinləşə bilər. Üzən məzənnə rejimində valyutanın dəyəri əsasən bazarda tələb və təklif əsasında formalaşır. Bu rejim iqtisadiyyata xarici şoklara daha çevik uyğunlaşmaq imkanı verir. Lakin onun mənfi tərəfi məzənnənin kəskin dəyişkənliyidir. Xüsusilə maliyyə bazarları zəif inkişaf etmiş ölkələrdə tam üzən məzənnə rejimi yüksək risklər yarada bilər [6].

**Cədvəl 2. Məzənnə rejimlərinin müqayisəli təhlili**

| Məzənnə rejimi       | Üstünlükləri                                                    | Zəif tərəfləri                                            |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sabit məzənnə        | Qiymət sabitliyini dəstəkləyir, bazarda gözləntiləri nizamlayır | Valyuta ehtiyatlarından yüksək asılılıq yaradır           |
| Üzən məzənnə         | Bazar şəraitinə çevik uyğunlaşır                                | Kəskin dalğalanma riski yüksəkdir                         |
| İdarə olunan məzənnə | Sabitlik və çeviklik arasında balans yaradır                    | Effektiv idarəetmə və güclü institusional baza tələb edir |

İdarə olunan məzənnə rejimi sabit və üzən rejimlərin müəyyən xüsusiyyətlərini birləşdirir. Bu rejimdə məzənnə bazar mexanizmləri əsasında formalaşsa da, mərkəzi bank zəruri hallarda bazara müdaxilə edir. Məqsəd məzənnənin süni şəkildə dəyişməsinin deyil, kəskin və iqtisadi əsaslarla izah olunmayan dalğalanmaların qarşısının alınmasıdır. Bir çox inkişaf etməkdə olan ölkələr məhz idarə olunan məzənnə rejiminə üstünlük verir. Bunun əsas səbəbi odur ki, bu ölkələrdə maliyyə bazarları inkişaf etmiş ölkələrlə müqayisədə daha həssasdır. Eyni zamanda xarici ticarət və kapital axınları global şoklardan daha çox təsirlənir. Ona görə də məzənnənin tamamilə bazarın ixtiyarına buraxılması bəzən ciddi risklər yarada bilər. Azərbaycan iqtisadiyyatı baxımından da idarə olunan məzənnə yanaşması praktik əhəmiyyət daşıyır. Çünki ölkənin valyuta gəlirləri əsasən enerji ixracı ilə bağlıdır və bu gəlirlər dünya bazarındakı qiymət dəyişikliklərindən təsirlənir. Belə şəraitdə məzənnə siyasəti həm valyuta ehtiyatlarının qorunmasına, həm də makroiqtisadi sabitliyin təmin edilməsinə xidmət etməlidir [7].

### Azərbaycanda valyuta məzənnəsinin idarə olunması

Azərbaycanda valyuta məzənnəsinin idarə olunması makroiqtisadi sabitliyin qorunması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Milli valyutanın sabitliyi əhalinin gəlirlərinə, biznes mühitinə, bank sektoruna və dövlət büdcəsinə birbaşa təsir göstərir. Buna görə də məzənnə siyasəti yalnız maliyyə texnikası kimi deyil, ümumi iqtisadi siyasətin vacib hissəsi kimi qiymətləndirilməlidir. Azərbaycan iqtisadiyyatının əsas xüsusiyyətlərindən biri ixrac gəlirlərində enerji sektorunun üstün mövqeyə malik olmasıdır. Neft və qaz gəlirləri ölkəyə xarici valyuta daxilolmalarının əsas mənbələrindən biridir. Bu gəlirlər yüksək olduqda valyuta bazarında sabitlik güclənir. Lakin enerji qiymətlərində azalma baş verdikdə valyuta daxilolmaları zəifləyir və bu, məzənnə üzərində təzyiq yarada bilər. Bu baxımdan iqtisadiyyatın şaxələndirilməsi valyuta sabitliyi üçün əsas şərtlərdən biridir. Qeyri-neft sektorunun inkişafı, ixrac məhsullarının çeşidinin artırılması və yerli istehsalın gücləndirilməsi valyuta bazarında neftdən asılılığı azalda bilər. Əks halda, məzənnə sabitliyi əsasən xarici enerji bazarlarından asılı qalacaqdır [8].

### **Valyuta məzənnəsi və inflyasiya əlaqəsi**

Valyuta məzənnəsi ilə inflyasiya arasında sıx əlaqə mövcuddur. Milli valyuta dəyər itirdikdə idxal olunan malların qiyməti artır. Bu isə daxili bazarda ümumi qiymət səviyyəsinə təsir göstərir. Xüsusilə ərzaq, texnologiya, dərman, avadanlıq və yanacaq kimi idxaldan asılı məhsullarda məzənnə dəyişiklikləri daha tez hiss olunur. İdxal qiymətlərinin artması yalnız istehlak mallarına deyil, istehsal xərclərinə də təsir edir. Bir çox müəssisələr xammal, avadanlıq və texnologiyaları xaricdən alır. Məzənnə zəiflədikdə bu xərclər artır və nəticədə yerli məhsulların da qiyməti yüksələ bilər. Beləliklə, valyuta məzənnəsi inflyasiyanın əsas ötürücü kanallarından birinə çevrilir. Bu səbəbdən mərkəzi banklar valyuta məzənnəsini izləyərkən yalnız valyuta bazarındakı vəziyyəti deyil, həm də inflyasiya risklərini nəzərə alırlar. Əgər məzənnə dəyişiklikləri qiymət artımını sürətləndirirsə, monetar siyasət daha ehtiyatlı qurulmalıdır. Burada əsas məqsəd həm qiymət sabitliyini, həm də iqtisadi aktivliyi qorumaqdır [9].

### **Valyuta bazarının inkişafı və idarəetmənin təkmilləşdirilməsi**

Valyuta məzənnəsinin səmərəli idarə olunması üçün valyuta bazarının inkişafı mühüm şərtidir. Bazar nə qədər dərin və şəffaf olarsa, məzənnə də bir o qədər real iqtisadi göstəricilərə əsaslanaraq formalaşar. Əks halda, bazarda məhdud iştirakçıların davranışı məzənnəyə daha güclü təsir göstərə bilər. Valyuta bazarının inkişafı üçün maliyyə alətlərinin diversifikasiyası vacibdir. Forvard, fyuçers, opsiya və digər riskdən qorunma alətləri sahibkarlara məzənnə risklərini daha yaxşı idarə etmək imkanı verə bilər. Bu alətlər inkişaf etmədikdə biznes subyektləri məzənnə dəyişiklikləri qarşısında daha müdafiəsiz qalırlar. Bundan əlavə, rəqəmsallaşma valyuta bazarının idarə olunmasında yeni imkanlar yaradır. Elektron ticarət platformaları, real vaxt rejimində məlumat bazaları və analitik monitoring sistemləri bazarda şəffaflığı artırır. Bu isə həm mərkəzi bankın qərarlarının effektivliyini yüksəldər, həm də bazar iştirakçılarının düzgün informasiya əsasında qərar verməsinə kömək edər [10].

### **Valyuta məzənnələrinin tənzimlənməsi modelləri və beynəlxalq təcrübə**

Sabit məzənnə rejimi valyuta məzənnəsinin müəyyən edilmiş səviyyədə saxlanılmasını nəzərdə tutur. Bu modeldə mərkəzi bank milli valyutanın digər valyutaya və ya valyuta səbətinə nisbətdə sabit dəyərini qorumaq məqsədilə valyuta bazarında aktiv iştirak edir. Bu rejim inflyasiyanın nəzarətdə saxlanılması və iqtisadi sabitliyin təmin olunması baxımından üstünlüklərə malik olsa da, eyni zamanda monetar siyasətin müstəqilliyini məhdudlaşdırır. Tarixi baxımdan Bretton Woods sistemi sabit məzənnə rejiminin klassik nümunəsi kimi qiymətləndirilir [8, s. 417–456].

Üzən məzənnə rejimi valyuta məzənnəsinin bazar qüvvələrinin təsiri ilə sərbəst şəkildə formalaşmasına əsaslanır. Modeldə tələb və təklif amilləri məzənnənin əsas determinantları kimi çıxış edir və dövlət müdaxiləsi minimal səviyyədə olur. Üzən məzənnə rejimi iqtisadi şoklara daha çevik uyğunlaşma imkanı yaradır və xarici disbalansların avtomatik tənzimlənməsinə şərait yaradır. Yüksək dəyişkənlik riski və maliyyə qeyri-sabitliyi kimi problemlər də yarana bilər. İdarə olunan məzənnə rejimi isə sabit və üzən modellərin kombinasiyası kimi çıxış edir. Bu yanaşmada valyuta məzənnəsi əsasən bazar mexanizmləri ilə müəyyən olunur, lakin mərkəzi bank zərurət yarandıqda məzənnənin kəskin dalğalanmalarının qarşısını almaq üçün müdaxilə edir. Müasir iqtisadiyyatlarda ən geniş yayılmış model məhz bu yanaşmadır, çünki o, həm bazar çevikliyini, həm də müəyyən səviyyədə sabitliyi təmin etməyə imkan verir.

Valyuta məzənnəsinin tənzimlənməsi ilə bağlı digər mühüm modellər arasında valyuta lövhəsi (currency board), dollarizasiya və valyuta səbəti sistemi xüsusi yer tutur. Valyuta lövhəsi sistemində milli valyuta tam şəkildə xarici valyuta ilə təmin edilir və emissiya siyasəti ciddi qaydalarla məhdudlaşdırılır. Bu model yüksək sabitlik təmin etsə də, iqtisadi siyasətin elastikliyinə əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Dollarizasiya isə milli valyutanın tam və ya qismən xarici valyuta ilə

əvəz olunmasını nəzərdə tutur və bu, əsasən yüksək inflyasiya şəraitində tətbiq olunur. Beynəlxalq təcrübə göstərir ki, müxtəlif ölkələr öz iqtisadi xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq fərqli valyuta rejimlərindən istifadə edirlər. İnkişaf etmiş ölkələr, xüsusilə ABŞ, Avrozona və Yaponiya, əsasən üzən məzənnə rejimini tətbiq edir və bu, onların inkişaf etmiş maliyyə bazarları ilə əlaqədardır.

İnkişaf etməkdə olan ölkələr isə daha çox idarə olunan məzənnə sisteminə üstünlük verirlər, çünki bu model xarici şoklara qarşı müəyyən qoruyucu mexanizm yaradır. Xammal ixracından asılı olan ölkələrdə valyuta məzənnəsinin idarə olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu ölkələrdə dünya bazarlarında qiymət dəyişiklikləri valyuta gəlirlərinə birbaşa təsir göstərdiyi üçün məzənnə siyasəti iqtisadi sabitliyin əsas alətlərindən birinə çevrilir. Azərbaycan kimi iqtisadiyyatlarda idarə olunan məzənnə rejimi geniş tətbiq olunur və bu, həm valyuta ehtiyatlarının idarə olunması, həm də makroiqtisadi sabitliyin qorunması məqsədlərinə xidmət edir. Valyuta məzənnəsinin tənzimlənməsi prosesində “mümkün olmayan üçlük” (impossible trinity) prinsipi xüsusi nəzəri əhəmiyyətə malikdir. Prinsipə görə, eyni zamanda sabit məzənnə, sərbəst kapital hərəkəti və müstəqil monetar siyasət tam şəkildə təmin edilə bilməz. Məhdudiyyət ölkələrin valyuta siyasəti seçimində əsas determinantlardan biri kimi çıxış edir və iqtisadi prioritetlərin müəyyən edilməsində mühüm rol oynayır.

Valyuta məzənnəsinin tənzimlənməsi yalnız seçilmiş rejim çərçivəsində deyil, eyni zamanda tətbiq olunan iqtisadi alətlər vasitəsilə həyata keçirilir. Bu alətlər mərkəzi bankın və dövlətin iqtisadi siyasət imkanlarını əks etdirərək valyuta bazarında tarazlığın qorunmasına yönəlir. Müasir iqtisadiyyatda bu mexanizmlər həm birbaşa, həm də dolay təsir kanalları vasitəsilə reallaşdırılır. Birbaşa müdaxilə alətləri arasında valyuta bazarında aparılan əməliyyatlar xüsusi yer tutur. Mərkəzi bankın xarici valyutanın alqı-satqısı üzrə həyata keçirdiyi tədbirlər məzənnənin qısamüddətli sabitliyinin təmin edilməsinə yönəlir. Müdaxilələr adətən valyuta ehtiyatlarının istifadəsi hesabına həyata keçirilir və bazarda tələb və təklif nisbətinə operativ təsir göstərir. Bu mexanizm xüsusilə yüksək dəyişkənlik dövrlərində kəskin dalğalanmaların qarşısını almaq baxımından əhəmiyyətlidir.

Dolay tənzimləmə alətləri isə daha geniş iqtisadi kanallar vasitəsilə təsir göstərir. Faiz dərəcələrinin dəyişdirilməsi bu baxımdan əsas vasitələrdən biri hesab olunur. Faiz siyasəti kapital axınlarının istiqamətinə təsir edərək valyutaya olan tələbi formalaşdırır. Yüksək faiz mühiti xarici investorlar üçün cəlbedicilik yaradaraq milli valyutanın möhkəmlənməsinə şərait yarada bilər. Əksinə, faizlərin aşağı salınması iqtisadi aktivliyi stimullaşdırmaqla yanaşı, valyuta üzərində zəiflədici təsir göstərə bilər. Açıq bazar əməliyyatları və pul kütləsinin tənzimlənməsi də valyuta məzənnəsinə dolay təsir edən mühüm alətlər sırasına daxildir. Pul təklifində baş verən dəyişikliklər qiymət səviyyəsinə və maliyyə bazarlarının davranışına təsir göstərərək məzənnənin dinamikasına ötürülür. Monetar siyasətin ümumi istiqaməti valyuta məzənnəsinin formalaşmasında sistemli rol oynayır [9, s. 144–152].

Valyuta ehtiyatlarının idarə olunması isə tənzimləmə mexanizminin strateji komponentidir. Kifayət qədər ehtiyatların mövcudluğu mərkəzi bankın bazara müdaxilə imkanlarını genişləndirir və iqtisadi subyektlərdə sabitlik gözləntilərinin formalaşmasına təsir göstərir. Ehtiyatların səviyyəsi və strukturu ölkənin xarici şoklara qarşı davamlılığını müəyyən edən əsas göstəricilərdən biri kimi çıxış edir. Bu alətlərin tətbiqi iqtisadi şəraitdən asılı olaraq fərqli intensivlikdə həyata keçirilir. İnkişaf etmiş maliyyə bazarlarına malik ölkələrdə dolay alətlər üstünlük təşkil etdiyi halda, daha həssas iqtisadiyyatlarda birbaşa müdaxilə mexanizmləri daha aktiv istifadə olunur. Bu fərq valyuta siyasətinin ölkənin iqtisadi strukturuna uyğun şəkildə formalaşdırıldığını göstərir.

## NƏTİCƏ

Xarici valyuta məzənnəsi müasir iqtisadi sistemdə yalnız mübadilə göstəricisi deyil, həm də makroiqtisadi sabitliyin əsas elementlərindən biridir. Onun dəyişməsi inflyasiya, xarici ticarət, kapital axınları, investisiya qərarları və əhalinin alıcılıq qabiliyyəti üzərində mühüm təsir yaradır. Buna görə də valyuta məzənnəsinin idarə olunması hər bir ölkə üçün strateji əhəmiyyət daşıyır.



Araşdırma göstərir ki, valyuta məzənnəsinə təsir edən amillər çoxşaxəlidir. İnflyasiya, faiz dərəcələri, tədiyə balansı, xarici ticarət strukturu, kapital axınları və dövlət siyasəti məzənnənin formalaşmasında əsas rol oynayır. Bu amillərin hər biri ayrı-ayrılıqda deyil, qarşılıqlı əlaqədə təhlil olunmalıdır. Azərbaycan iqtisadiyyatı üçün valyuta məzənnəsinin idarə olunması xüsusilə vacibdir. Enerji gəlirlərindən asılılıq, global bazar şokları və idxal amilinin qiymətlərə təsiri məzənnə siyasətinin daha ehtiyatlı və sistemli qurulmasını tələb edir. Gələcəkdə valyuta bazarının dərinləşdirilməsi, qeyri-neft ixracının artırılması, maliyyə alətlərinin inkişafı və rəqəmsal idarəetmə mexanizmlərinin genişləndirilməsi məzənnə sabitliyinin təmin olunmasına mühüm töhfə verə bilər [11].

#### ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Krugman, P., Obstfeld, M., & Melitz, M. International Economics: Theory and Policy. Pearson Education.
2. Mishkin, F. S. The Economics of Money, Banking and Financial Markets. Pearson.
3. Frankel, J. A. On the Mark: A Theory of Floating Exchange Rates Based on Real Interest Differentials. American Economic Review.
4. Itskhoki, O., & Mukhin, D. What Drives the Exchange Rate? IMF Economic Review, 2024.
5. International Monetary Fund. Annual Report on Exchange Arrangements and Exchange Restrictions. IMF.
6. Azərbaycan Respublikası Mərkəzi Bankı. Pul siyasəti icmalları və statistik bülletenlər.
7. World Bank. Global Economic Prospects.
8. Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi. Makroiqtisadi göstəricilər üzrə statistik məlumatlar.
9. Obstfeld, M., Shambaugh, J. C., & Taylor, A. M. The Trilemma in History: Tradeoffs among Exchange Rates, Monetary Policies, and Capital Mobility.
10. Dornbusch, R. Exchange Rate Economics: Where Do We Stand? Brookings Papers on Economic Activity.
11. Əliyev, Ş. Azərbaycan iqtisadiyyatı və makroiqtisadi sabitlik problemləri. Bakı.

# RƏQƏMSAL TRANSFORMASIYA ŞƏRAITINDƏ ELEKTRON DÖVLƏT VƏ ELEKTRON DEMOKRATIYA

Şirin Əhmədov Qurbanoviç

Magistrant, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti (UNEC)

## Xülasə:

Bu məqalədə rəqəmsal transformasiya şəraitində elektron dövlət və elektron demokratiyanın nəzəri, metodoloji və tətbiqi cəhətləri geniş şəkildə təhlil edilmişdir. Araşdırmada elektron dövlətin idarəetmə proseslərinə təsiri, xidmətlərin rəqəmsallaşdırılması, vətəndaş məmnuniyyətinin formalaşması və informasiya təhlükəsizliyi məsələləri sistemli yanaşma ilə qiymətləndirilmişdir. Elektron demokratiyanın ictimai iştirak imkanlarını genişləndirdiyi, qərarvermə prosesini şəffaflaşdırdığı və dövlət–cəmiyyət əlaqələrini gücləndirdiyi göstərilmişdir. Məqalədə həmçinin müxtəlif ölkələrin təcrübələri müqayisəli şəkildə araşdırılmış və Azərbaycan üçün aktual olan problemlər və inkişaf perspektivləri müəyyən edilmişdir. Təhlil nəticəsində məlum olmuşdur ki, rəqəmsal idarəçilik yalnız texnoloji yenilənmə deyil, həm də sosial, hüquqi və təşkilati mühitin kompleks dəyişməsi ilə müşayiət olunan çoxşaxəli prosesdir. Eyni zamanda kibertəhlükəsizlik, rəqəmsal savadlılıq, infrastruktur bərabərsizliyi və ictimai iştirak səviyyəsi kimi məsələlər elektron dövlət və elektron demokratiyanın davamlı inkişafına birbaşa təsir edən əsas amillər kimi qiymətləndirilmişdir. Məqalənin sonunda mövcud vəziyyət əsasında səmərəli tətbiq üçün nəzərdə tutulan təkliflər təqdim edilmişdir.

**Açar sözlər :** Elektron dövlət; elektron demokratiya; rəqəmsal transformasiya; dövlət idarəçiliyi; rəqəmsal xidmətlər; kibertəhlükəsizlik; ictimai iştirak; rəqəmsal savadlılıq; innovativ idarəetmə; rəqəmsal strategiya.

## Giriş :

Rəqəmsal dövr dövlət idarəçiliyinə yeni imkanlar təqdim edir. Cəmiyyət dəyişdikcə idarəetmə yanaşmaları da yenilənir. Dövlət qurumları rəqəmsal imkanlardan geniş istifadə etməyə çalışır. Bu proses idarəetmədə səmərəliliyi əsas məqsəd kimi müəyyən edir. Rəqəmsal yeniliklər dövlət–vətəndaş münasibətlərini də dəyişir. İnformasiya axınının sürəti idarəçilik tələblərini artırır. Cəmiyyətin gözləntiləri daha operativ xidmətlərə yönəlir. Dövlət qurumları bu dəyişən tələblərə uyğunlaşmağa çalışır. Rəqəmsal yanaşmalar idarəetmədə çevik qərarlar verir. Bütün bunlar yeni idarəçilik modelinin konturlarını formalaşdırır.

Elektron dövlət anlayışı müasir idarəetmənin əsas istiqamətidir. Bu yanaşma dövlət xidmətlərini sadə və əlçatan edir. Xidmətlərin keyfiyyəti rəqəmsal vasitələrlə daha da yüksəlir. Vətəndaş üçün müraciət prosesləri xeyli asanlaşır. Elektron platformaların qurulması idarəetmədə şəffaflığı artırır. Bu şəffaflıq dövlət orqanlarına olan etimadı möhkəmləndirir. Rəqəmsal xidmətlərin genişlənməsi yeni vərdislər yaradır. Cəmiyyət bu xidmətlərdən gündəlik istifadə edir. İdarəçilikdə rəqəmsallıq böyük sosial təsir göstərir. Dövlət qurumları bu təsiri nəzərə almağa çalışır.

Elektron demokratiya cəmiyyət iştirakını genişləndirən mühüm sahədir. Bu yanaşma vətəndaşın səsinə daha görünən edir. İctimai fikrin toplanması prosesə dinamika əlavə edir. Rəqəmsal mühit insanların qərarlara təsirini artırır. Müzakirələr daha sərbəst və daha əlçatan olur. Dövlət bu imkanlardan istifadə edərək açıqlığı gücləndirir. İştirak mədəniyyəti rəqəmsal mühitdə yeni şəkil alır. Cəmiyyət özü idarəçilik prosesinə daha yaxın olur. Bu yaxınlıq dövlət–vətəndaş münasibətlərini yenidən qurur. Rəqəmsal iştirak idarəçilik proseslərinə yeni nəfəs verir.

Rəqəmsal dəyişikliklər dövlətlərin inkişaf yolunu müəyyən edir. İnformasiya axınının gücü idarəetmə düşüncələrini dəyişir. Dövlətlər rəqəmsal yönümlü siyasətlər tətbiq etməyə çalışır. Bu siyasətlər idarəetmə səmərəsini yüksəltməyi hədəfləyir. Müasir cəmiyyət daha çevik dövlət modeli tələb edir. Bu tələb dövlət qurumlarını yeniliklərə yönəldir. Rəqəmsal yanaşmalar idarəetməni daha dinamik edir. Prosesin davamlılığı idarəçilik üçün əsas şərtədir. Dövlət strukturları bu davamlılığı təmin etməyə çalışır. Rəqəmsal inkişaf dövlət siyasətində prioritet olur.

Azərbaycan da bu dəyişiklikləri aktiv şəkildə tətbiq edir. Rəqəmsal layihələr idarəetməyə yeni nəfəs gətirir. Dövlət xidmətləri daha çevik formaya keçid edir. Vətəndaş üçün xidmətlər daha əlçatan olur. Rəqəmsal mühit ictimai münasibətləri də yeniləyir. Cəmiyyət idarəçilik prosesinə daha fəal qoşulur. Dövlət qurumları rəqəmsal yanaşmaları genişləndirir. İnkişaf strategiyaları rəqəmsal məqsədlərə uyğun qurulur. Gələcək üçün rəqəmsal idarəetmə əsas istiqamət sayılır. Bu istiqamət ölkənin ümumi inkişaf xəttini möhkəmləndirir.

#### **Təhlil :**

Rəqəmsal dəyişikliklər dövlət idarəçiliyinin əsas çərçivəsini yeniləyir. Müasir dövr idarəçilik prosesinə yeni tələblər gətirir. Dövlət strukturları bu dəyişikliklərə uyğunlaşmaq məcburiyyətindədir. Vətəndaş gözləntiləri daha operativ yanaşma tələb edir. Rəqəmsal imkanlar dövlət xidmətlərini daha əlçatan edir. Bu əlçatanlıq idarəetmədə geniş dönüş yaradır. Dövlət sistemləri yeni iş modelləri formalaşdırır. Xidmət axını rəqəmsal mühitdə daha çevik olur. Dəyişikliklər idarəetməyə uzunmüddətli təsir göstərir. Proses davamlı şəkildə yenilənmə tələb edir.

Elektron dövlət idarəetmədə sadəlik və şəffaflıq yaradır. Bu yanaşma dövlət xidmətlərini struktur baxımından gücləndirir. Cəmiyyət bu xidmətlərdən gündəlik istifadə edir. Bu istifadə idarəçiliyin səmərəsini artırır. Vətəndaş üçün vaxt itkiləri xeyli azalır. Dövlət qurumları iş yükünü daha yaxşı bölür. Rəqəmsal sistemlər idarəçilikdə çevik qərarlar təmin edir. Bu çeviklik prosesin sürətini artırır. İdarəçilikdə dəqiqlik daha yüksək səviyyəyə çatır. Nəticədə dövlət–vətəndaş münasibətləri möhkəmlənir. (Aliyev, 2019)

Elektron demokratiya ictimai iştirak üçün yeni imkanlar yaradır. Rəqəmsal mühit müzakirə prosesini daha canlı edir. Vətəndaş fikirləri daha görünən şəkildə əks olunur. İştirakçılar qərar proseslərinə daha yaxın olur. Dövlət qurumları bu fikirləri diqqətlə izləyir. Sosial yanaşmalar daha açıq müzakirələrə şərait yaradır. Cəmiyyət öz fikirlərini rahat paylaşır. Bu paylaşım idarəçiliyə faydalı məlumat verir. Rəqəmsal iştirak ictimai münasibətləri yeni mərhələyə çıxarır. Nəticədə demokratik davranış daha geniş yayılır.

Beynəlxalq təcrübə rəqəmsal idarəetmənin vacibliyini göstərir. Bir çox ölkələr rəqəmsallığa strateji önəm verir. Bu yanaşma dövlət sistemlərini daha dayanıqlı edir. İnkişaf etmiş ölkələr yaxşı nümunələr təqdim edir. Bu nümunələr idarəçilik prosesinə dəyər qatır. Dövlətlər bu nümunələri yerli şəraitə uyğunlaşdırır. Uyğunlaşdırma fərqli nəticələr ortaya çıxarır. Hər ölkə öz imkanlarını nəzərə alır. Bu yanaşma real inkişaf xəttini müəyyən edir. Qlobal təcrübə rəqəmsal idarəetməyə mühüm dəstək verir.

Cədvəl 1. "Elektron Dövlət və Elektron Demokratiyanın Rəqəmsal Transformasiya Kontekstində İnkişaf Amillərinin Analitik Qiymətləndirilməsi

| Mövzu istiqaməti                    | Mövcud vəziyyət                                   | Üstünlüklər                        | Çətinliklər                      | İnkişaf imkanları                                   |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Elektron dövlət</b>              | Xidmətlər geniş rəqəmsallaşır, struktur yenilənir | Əlçatanlıq, sürət, şəffaflıq artır | İnfrastruktur bərabər yayılmır   | Platformaların integrasiyası və optimallaşdırılması |
| <b>Elektron demokratiya</b>         | Rəqəmsal iştirak mexanizmləri formalaşır          | İctimai iştirak genişlənir         | Aktivlik bərabər deyil           | Onlayn iştirak alətlərinin yeni formaları           |
| <b>Rəqəmsal idarəetmə</b>           | Dövlət qurumlarında rəqəmsal proseslər güclənir   | Səmərəlilik yüksəlir               | Kadr boşluqları qalır            | İnsan resurslarının rəqəmsallaşdırılması            |
| <b>Kibertəhlükəsizlik</b>           | Təhlükəsizlik strukturları gücləndirilir          | Məlumat qorunması yaxşılaşır       | Təhlükə səviyyəsi dəyişkəndir    | Milli kibermüdafiə ekosisteminin genişlənməsi       |
| <b>Vətəndaş məmnuniyyəti</b>        | Rəqəmsal xidmətlərdən istifadə artır              | Prosessual rahatlıq təmin edilir   | Şikayətlər tam azalmır           | Xidmət keyfiyyətinin optimallaşdırılması            |
| <b>İnfrastruktur və texnologiya</b> | İT layihələri geniş tətbiq olunur                 | Sistem dayanıqlığı yüksəlir        | Regionlar arasında fərqlər qalır | Bərabər infrastruktur təminatı                      |
| <b>İctimai iştirak mədəniyyəti</b>  | Onlayn platformalara maraq artır                  | Sosial dialog aktivləşir           | Rəqəmsal savad aşağıdır          | Maarifləndirmə və təlim proqramları                 |

**Mənbə :** Heeks, R. (2018). Information and Communication Technology for Development. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315652603/information-communication-technology-development-ict4d-richard-heeks>

Cədvəldə təqdim olunan istiqamətlər rəqəmsal idarəçiliyin əsas xəttini elmi yanaşma ilə izah edir və burada hər sahə dövlət fəaliyyətində yenilənmə ehtiyaclarını sistemli şəkildə göstərir. Məlumatların strukturlaşdırılması idarəetmənin dəyişən tələblərinə uyğun analitik çərçivə yaradır və bu çərçivə dövlət proseslərinin rəqəmsal mərhələlərini daha aydın təsvir edir. Elektron dövlət sahəsi xidmətlərin səmərəliliyini artıran amilləri real təcrübələr əsasında ümumiləşdirir və bu ümumiləşdirmə idarəçiliyin modern istiqamətlərini nəzərə çarpdırır. Elektron demokratiya bölməsi cəmiyyətin qərarvermə prosesinə rəqəmsal çıxış imkanlarını ardıcıl şəkildə dəyərləndirir və ictimai iştirakın yeni formalarını daha aydın səviyyədə göstərir. Rəqəmsal idarəetmə xüsusi olaraq proseslərin koordinasiyasını gücləndirən mexanizmləri araşdırır və burada idarəetmə çevikliyinin vacib elementləri diqqətlə qeyd olunur. Kibertəhlükəsizlik sahəsi rəqəmsal təhdidlərin dinamikasını elmi əsaslarla təsvir edir və risklərin qarşısını almaq üçün mövcud mexanizmləri qiymətləndirir. Vətəndaş məmnuniyyəti isə xidmət keyfiyyətinin sosial təsirini obyektiv şəkildə açıqlayır və ictimai gözləntilərin dəyişmə tendensiyalarını dəqiq göstərir. İnfrastruktur bölməsi rəqəmsal sistemlərin texniki dayanıqlığını müəyyən edən amilləri əsaslandırır və bu amillər dövlət xidmətlərinin ümumi keyfiyyətinə təsir göstərir. İştirak mədəniyyəti isə rəqəmsal davranışların formalaşmasını sosial baxımdan araşdırır və cəmiyyətin rəqəmsal dəyişikliklərə uyğunlaşma səviyyəsini müəyyən edir. Cədvəl bütün istiqamətləri vahid analitik çərçivədə birləşdirərək idarəçilik üçün dəyərli elmi nəticələr yaradır. (Castells, 2010)

Elektron dövlət sahəsinin cədvəldə əhatə olunması dövlət xidmətlərinin struktur baxımından dəyişmə prosesini aydınlaşdırır və burada rəqəmsal yanaşmaların dövlət fəaliyyətinə təsiri geniş şəkildə göstərilir. Xidmətlərin çevikləşməsi və əlçatanlığı idarəetmədə əməliyyat yükünü azaldan əsas faktor kimi dəyərləndirilir və bu faktor proseslərin daha funksional olmasını təmin edir. Elektron xidmətlərin geniş tətbiqi vətəndaşların dövlət qurumları ilə əlaqəsini sadələşdirir və idarəetmədə səmərə göstəricilərini yüksəldir. Cədvəldə bu sahənin üstünlükləri və məhdudiyyətləri aydın şəkildə qeyd olunur və bu qeyd dövlət qurumlarının gələcək planlaşdırmasını daha dəqiq istiqamətləndirir. Rəqəmsal xidmətlərin inkişafı üçün texniki baza və hüquqi tənzimləmə xüsusi əhəmiyyət daşıyır və bu tələblər idarəetmə modelinin düzgün işləməsini təmin edir. Dövlət fəaliyyətində şəffaflığın artması elektron yanaşmaların əsas nəticələrindən biri kimi dəyərləndirilir və bu nəticə ictimai etimadın möhkəmlənməsinə şərait yaradır. Elektron dövlətin inkişafı həm də xidmətlərin keyfiyyətinin davamlı monitorinqini tələb edir və bu monitorinq gücləndirilmiş idarəetmə qərarları üçün dəyərli məlumat verir. Cədvəldə göstərilən məhdudiyyətlər xidmət mühitinin daha səmərəli qurulması üçün nəzərə alınmalıdır və bu nəzərəalma inkişaf prosesinin əsas mərhələsini təşkil edir. Dövlət qurumlarının institusional hazırlıq səviyyəsi rəqəmsallaşmanın uğuruna birbaşa təsir göstərir və bu təsir idarəetmə sisteminin ümumi nəticələrinə əhəmiyyətli şəkildə yansır. Ümumilikdə elektron dövlət istiqaməti rəqəmsal idarəçiliyin aparıcı xəttini formalaşdıraraq cəmiyyət üçün yeni imkanlar yaradır. (Hüseynova, 2020)

Rəqəmsal idarəetmə sahəsi cədvəldə dövlət qurumlarının iş mexanizmlərini yeniləyən əsas xətt kimi təqdim olunur və burada idarəetmə strukturlarının dəyişmə prosesi analitik çərçivəyə salınır. Proseslərin rəqəmsallaşdırılması idarəçilikdə səmərəliliyi artıran mühüm addım hesab edilir və bu addım dövlət xidmətlərinin təkmilləşməsinə geniş təsir edir. Cədvəldə göstərilən üstünlüklər idarəetmənin optimallaşdırılması üçün vacib istiqamətləri müəyyənləşdirir və bu istiqamətlər dövlət fəaliyyətinin gündəlik icrasına real təsir göstərir. Rəqəmsal idarəetmə insan resurslarının yeni bacarıqlarla təmin edilməsini tələb edir və bu tələb texnoloji dəyişikliklərin sürətinə uyğun bir zərurət kimi təqdim olunur. Kadr hazırlığı sahəsində yaranan boşluqlar idarəetmə sisteminin davamlı fəaliyyətinə təsir edən əsas çətinlik kimi qiymətləndirilir və bu çətinliyin aradan qaldırılması dövlət siyasəti üçün prioritet sayılır. İdarəetmə proseslərində rəqəmsal qərar sistemləri daha etibarlı nəticələr yaratmaq üçün geniş istifadə olunur və bu nəticələr qərarvermə keyfiyyətini artırır. Rəqəmsal idarəetmənin tətbiqi dövlət xərclərinin optimallaşdırılması üçün də mümkün vasitə kimi göstərilir və bu vasitə idarəetmədə effektiv resurs bölgüsünü təmin edir. Cədvəl bu sahədəki çətinlikləri real göstəricilərlə təsvir edir və bu təsvir problemlərin elmi əsaslı qiymətləndirilməsinə imkan verir. İdarəetmə mexanizmlərinin rəqəmsal uzlaşması dövlət fəaliyyətinin uzunmüddətli inkişafı üçün vacib hesab edilir və bu vaciblik prosesin davamlı yenilənməsini zəruri edir. Rəqəmsal idarəetmə ümumilikdə dövlət sisteminin modernləşməsini təmin edən əsas strategiya kimi dəyərləndirilir. (Шулаев, 2020)

Kibertəhlükəsizlik sahəsi cədvəldə rəqəmsal risklərin dəyişən dinamikasını göstərən mühüm istiqamət kimi formalaşdırılır və burada təhlükəsizlik mexanizmləri elmi əsaslarla qiymətləndirilir. Dövlət strukturunda məlumat mühafizəsi rəqəmsal fəaliyyətin əsas elementlərindən biri sayılır və bu element idarəçilik üçün strateji əhəmiyyət daşıyır. Cədvəl kibertəhlükəsizliyin üstünlüklərini və risklərini birgə təqdim edir və bu təqdimat təhlükəsizlik strategiyalarının daha düzgün qurulmasına şərait yaradır. Rəqəmsal mühitdə təhlükələrin artması dövlət qurumlarının müdafiə mexanizmlərinə daha çox ehtiyac yaradır və bu ehtiyac sistemin davamlı gücləndirilməsini tələb edir. Təhlükə səviyyəsinin dəyişkənliyi kibermüdafiə modellərinin daima yenilənməsini vacib edir və bu yenilənmə dövlət sisteminin dayanıqlığını qoruyan əsas şərtlərdəndir. Məlumat sızması riskləri ictimai etimadı zəiflədən əsas problemlərdən biri sayılır və bu problemin aradan qaldırılması üçün konkret addımlar tələb olunur. Kibertəhlükəsizlik sahəsinin inkişafı milli səviyyədə koordinasiya edilmiş fəaliyyət tələb edir və bu fəaliyyət həm texniki, həm də təşkilati tədbirləri əhatə edir. Cədvəl bu sahədəki inkişaf imkanlarını aydın şəkildə təsvir edir və

bu təsvir kibermüdafiə strategiyalarının formalaşması üçün faydalı çərçivə yaradır. Dövlətlər üçün bu sahə rəqəmsal idarəetmənin vacib dayağı sayılır və təhlükəsizlik infrastrukturunu proseslərin davamlılığını qoruyan dəyərli amildir. Kibertəhlükəsizlik istiqaməti ümumilikdə rəqəmsal idarəçilik ekosisteminin sabitliyi üçün həlledici komponent rolunu oynayır.

İctimai iştirak və vətəndaş məmnuniyyəti sahələrinin cədvəldə göstərilməsi rəqəmsal mühitin sosial təsirlərini geniş şəkildə izah edir və bu izah ictimai davranışın dəyişmə dinamikasını aydınlaşdırır. Rəqəmsal xidmətlər vətəndaş gözləntilərinə uyğunlaşmaq üçün davamlı şəkildə yenilənir və bu yenilənmə idarəetmədə müsbət nəticələr yaradır. Cədvəl məmnunluq göstəricilərinin artmasını xidmət keyfiyyəti ilə əlaqələndirir və bu əlaqə idarəetmədə sosial geribildirim mexanizmlərinin əhəmiyyətini artırır. Rəqəmsal platformaların artması vətəndaşlar üçün daha rahat müraciət mühiti yaradır və bu mühit dövlət strukturlarına olan inamı gücləndirir. İştirak mədəniyyəti cəmiyyətin rəqəmsal dəyişikliklərə uyğunlaşma səviyyəsini təyin edir və bu səviyyə dövlətin sosial siyasətinə mühüm təsir edir. Cədvəldə göstərilən çətinliklər bu sahənin inkişafında real məhdudiyyətləri ortaya çıxarır və bu məhdudiyyətlərin aradan qaldırılması geniş sosial yanaşma tələb edir. Rəqəmsal savadlılığın azlığı ictimai iştirakın bərabərliyini pozan faktor kimi qeyd olunur və bu faktor dövlət tərəfindən prioritet yanaşma tələb edir. Məmnunluğun artırılması üçün xidmətlərin daha şəffaf və funksional olması vacibdir və bu vaciblik idarəetmədə keyfiyyət meyarlarını yenidən formalaşdırır. Cədvəl bu istiqamətləri sosial baxımdan sistemli təsvir edir və təsvir rəqəmsal idarəçiliyin sosioloji ölçülərini daha aydın göstərir. Bu sahə ümumilikdə idarəetmənin sosial sabitliyini gücləndirən əsas elementlərdən biri kimi dəyərləndirilir. (Кызнецов, 2018)

Rəqəmsal inkişafın cədvəldə əks olunması idarəetmənin ümumi transformasiya istiqamətlərini daha dəqiq müəyyən edir və burada hər istiqamət sistemin modernləşmə səviyyəsini ifadə edir. Dövlət qurumları bu sahələr üzrə fəaliyyətini planlaşdırarkən mövcud üstünlükləri və çətinlikləri nəzərə almalıdır və bu nəzərəalma idarəetmənin daha məqsədyönlü qurulmasına şərait yaradır. İnkişaf imkanlarının geniş təsviri isə dövlətlərin növbəti strateji addımlarını daha obyektiv şəkildə planlaşdırmağa imkan verir və bu imkan idarəetmə sistemində rəqəbat qabiliyyətini artırır. Cədvəl göstərir ki, rəqəmsal idarəetmə yalnız texniki deyil, həm də sosial yönümlü prosesdir və bu proses ictimai münasibətləri daha müasir formaya salır. İnkişaf dinamikasının davamlı olması üçün bütün istiqamətlər üzrə koordinasiya vacibdir və bu koordinasiya dövlət fəaliyyətinin daha balanslı icrasına şərait yaradır. Ümumilikdə cədvəl dövlət idarəçiliyinin dəyişən mahiyyətini rəqəmsal şəkildə xarakterizə edir və bundan çıxan nəticələr idarəetmədə geniş tətbiq potensialı yaradır. (Srivastava, 2021)

### Nəticə

Rəqəmsal transformasiya müasir dövlət idarəçiliyinin əsas istiqamətlərindən birinə çevrilmiş və idarəçilik mexanizmlərinin həm struktur, həm də funksional səviyyədə yenilənməsini tələb edən bir proses kimi formalaşmışdır. Elektron dövlət və elektron demokratiya institutlarının inkişafı dövlət–vətəndaş münasibətlərinin yeni məzmun qazanmasına səbəb olmuş və ictimai iştirakın daha geniş, şəffaf və operativ şəkildə təmin edilməsinə şərait yaratmışdır. Təhlil göstərdi ki, elektron dövlətin tətbiqi yalnız texnoloji yeniliklərlə məhdudlaşmır, həm də idarəetmə mədəniyyəti, qərarvermə prosesi, sosial münasibətlər və ictimai məsuliyyət elementlərinin tam şəkildə yenidən qurulmasını tələb edir. Eyni zamanda elektron demokratiya cəmiyyətin idarəetmədə rolunu gücləndirmək üçün mühüm alət kimi çıxış etmiş, xüsusilə vətəndaşların qərarvermə prosesində fəallığını artırmış və ictimai nəzarət mexanizmlərini gücləndirmişdir.

Rəqəmsal idarəetmənin effektivliyi vahid infrastrukturun mövcudluğundan, koordinasiya olunmuş hüquqi-normativ bazanın tətbiqindən, kibertəhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəkliyindən, insan resurslarının rəqəmsal savadlılıq göstəricilərindən və xidmətlərin sosial adaptasiya dərəcəsindən birbaşa asılıdır. Azərbaycan üçün aparılan analiz göstərir ki, rəqəmsal dövlət

sahəsində əldə olunmuş uğurlar əhəmiyyətli olsa da, regionlararası bərabərsizlik, kadrların texnoloji bacarıqları, ictimai iştirakçılıq səviyyəsi və kibertəhlükəsizlik təhdidlərinə qarşı dayanıqlıq məsələləri hələ də aktualdır. Bununla belə, mövcud siyasət sənədləri, inkişaf strategiyaları və dövlət proqramları ölkədə rəqəmsal transformasiyanın davamlı şəkildə genişlənməsinə əlverişli hüquqi və institusional zəmin yaratmışdır. (Lindgren & Van Veenstra, 2018)



### Ədəbiyyat siyahısı:

1. Aliyev, R. (2019). Elektron dövlət və idarəetmədə rəqəmsal transformasiya. Bakı: Qanun Nəşriyyatı.
2. Məmmədov, E. (2021). Rəqəmsal idarəetmə sistemləri və müasir dövlət modeli. Bakı: Elm və Təhsil.
3. Hüseynova, Ş. (2020). Elektron demokratiyanın inkişaf meyilləri və ictimai iştirak. Bakı: Şərq-Qərb.
4. Səlimov, A. (2022). Kibertəhlükəsizlik və informasiya mühafizəsi: nəzəri və praktiki əsaslar. Bakı: Elm nəşriyyatı.
5. Quliyev, M. (2020). Dövlət qurumlarında rəqəmsal xidmətlərin təşkili və tətbiqi problemləri. Bakı: Təhsil.
6. Castells, M. (2010). The rise of the network society (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
7. Heeks, R. (2018). Information and communication technology for development. Routledge.
8. OECD. (2020). Digital government index: 2019 results. OECD Publishing.
9. UN Department of Economic and Social Affairs. (2022). UN e-government survey 2022: The future of digital government. United Nations.
10. Van Dijk, J. (2020). The digital divide. Oxford University Press.
11. Srivastava, S. (2021). E-governance: Concepts and applications. Springer.
12. Lindgren, I., & Van Veenstra, A. (2018). Digital government transformation: A public value perspective. *Government Information Quarterly*, 35(4), 475–482.
13. Бондаренко, Н., & Ефимова, И. (2019). Электронное государство и цифровая трансформация управления. Москва: ИНФРА-М.
14. Шулаев, М. (2020). Электронная демократия: теория, практика и механизмы участия граждан. Санкт-Петербург: Питер.
15. Смирнова, Е. (2021). Кибербезопасность в государственном управлении. Москва: Юрайт.
16. Кузнецов, А. (2018). Информационные технологии в публичном администрировании. Москва: Наука.

## Agricultural Sciences

ӘОЖ 613.292

# ДЕНСАУЛЫҚТЫ ЖАҚСARTУҒА ЖӘНЕ ТАМАҚТАНУҒА БАЙЛАНЫСТЫ АУРУЛАРДЫҢ АЛДЫН АЛУҒА БАҒЫТТАЛҒАН ФЕРМЕНТТЕЛГЕН КҮРІШ КЕБЕГІМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ФУНКЦИОНАЛДЫ НАН-ТОҚАШ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫН ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕУ

Умьянова Сауле Жумагельдиевна

Докторант, М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ.

Кизатова Майгуль Жалеловна

Техника ғылымдарының докторы, профессор, Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы қ.

Кенжеходжаев Махамедкали Досманович

Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М.Х.Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ.

**Аңдатпа.** Қазіргі таңда функционалды тағам өнімдерін дамыту алиментарлық тәуелді аурулардың, соның ішінде семіздік, қант диабеті және жүрек-қан тамыр патологияларының алдын алуда маңызды ғылыми бағыт болып табылады. Әдеби деректерді талдау көрсеткендей, күнделікті тұтынатын нан-тоқаш өнімдерін биологиялық белсенді компоненттермен байыту тиімді тәсілдердің бірі болып саналады. Осы тұрғыдан күріш кебегін пайдалану ерекше қызығушылық тудырады. Ферментация процесі шикізаттың қоректік құндылығын арттырып, биожетімділігін жақсартады, антиоксиданттық қасиеттерін күшейтеді және өнімнің сіңімділігін жоғарылатады. Осылайша, ферменттелген күріш кебегімен байытылған нан-тоқаш өнімдерін әзірлеу халық денсаулығын нығайтуға бағытталған ғылыми негізделген және перспективалы бағыт болып табылады.

**Кілт сөздер:** функционалдық өнім, нан-тоқаш өнімдері, күріш кебегі, ферменттелген күріш кебегі, тағамдық және биологиялық құндылық.

Қазіргі таңда дүниежүзілік тамақ өнеркәсібіндегі басты бағыт бұл халықтың денсаулығын жақсартуға және созылмалы аурулардың алдын алуға бағытталған «функционалды тамақтану» тұжырымдамасы. Нан-тоқаш өнімдері күнделікті тұтынылатын негізгі азық-түлік түрі болғандықтан, олардың құрамын биоактивті заттармен байыту арқылы

халықтың микронутриенттік тапшылығын жою – азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі маңызды стратегиялық міндет. Зерттеудің өзектілігі халық рационында тағамдық талшықтар мен микронутриенттердің жетіспеушілігіне байланысты.

Бүгінгі таңда азық-түлік өнімдерін әзірлеу технологиялары ең алдымен азық-түлік қауіпсіздігіне, теңгерімді қоректік заттардың құрамына және тұтынушылық қасиеттерді, әсіресе тағамдық және биологиялық құндылықты жақсартуға бағытталуы керек. Бұл жүйелі тәсіл нан мен нан-тоқаш өнімдерін қоса алғанда, жаппай нарықтағы және күнделікті қолданылатын өнімдер үшін өзекті. Нанның негізгі құрамдас бөлігі болып табылатын бидай ұнының ақуыз құрамы теңгерімсіз екені және көптеген биологиялық құнды компоненттері азаятыны белгілі. Сондықтан нан-тоқаш өнімдеріндегі бидай ұнын технологиялық және тағамдық қасиеттері жағынан ұқсас ұнмен алмастыру академиялық және өнеркәсіптік мамандармен қарқынды зерттелуде. Демек, жаңа өнім рецептерін әзірлеу үшін қауіпсіз және қоректік заттарға бай ингредиенттер қажет.

Нан-тоқаш өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру мәселесін шешу үшін көптеген отандық және шетелдің зерттеушілер өсімдік немесе жануар тектес табиғи өнімдерді, сондай-ақ дәстүрлі емес қоректік заттар көздерін және тамақ өнеркәсібінің екінші реттік өнімдерін пайдаланады, олардың ерекше құндылығы нан-тоқаш өнімдерін шартты түрде ақуыздық, минералдық немесе дәрумендік сипаттағы бірқатар компоненттермен кешенді байыту болып табылады [1].

Нан-тоқаш өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын арттырудың перспективалы бағыттарының бірі – бидай ұнын өңделген дәнді дақылдармен, атап айтқанда күрішпен алмастыру арқылы рецепт қоспаларының ұн компонентінің химиялық құрамын мақсатты түрде өзгерту.

Күріш өңдеу кәсіпорындарында түзілетін күріш кебегі – ақуызға, В тобының дәрумендері мен минералдарға бай құнды қосымша өнім. Дегенмен, оның құрамындағы фитин қышқылы және өзіндік спецификалық иісі оны тікелей пайдалануды шектейді. Ферментация нутриенттердің биожетімділігін арттырып, нанның органолептикалық қасиеттерін жақсартады.

Осы түйіткілді шешудің ең тиімді жолы ферментация процесі қарастырылады. Ферментация барысында ферменттік жүйелердің белсенділігі артып, фитаттар ыдырайды, ал кебектің өзіндік жағымсыз «шөптік» иісі бейтараптанады. Бұл зерттеу ферменттелген күріш кебегін нан-тоқаш өнімдерінің рецептурасына енгізу арқылы өнімнің тек тағамдық құндылығын ғана емес, сонымен қатар оның технологиялық және функционалдық көрсеткіштерін жақсартудың ғылыми негіздерін әзірлеуге бағытталған.

Зерттеу мақсаты - функционалдық құндылығы жоғары нан-тоқаш өнімдерін алу үшін ферменттелген күріш кебегін қосып, оның технологиясын мен рецептурасын ғылыми негіздеу.

Әдебиеттік шолуға арналған материалдар Scopus, Web of Science және Google Scholar халықаралық дерекқорларында ұсынылған ғылыми басылымдарды таладу негізінде қарастырылды.

Шолуды соңғы 10-15 жылдағы тиісті басылымдар қамтылған. Халықаралық дерекқорлада индекстелген басылымдарға, сондай-ақ эксперименттік түрде расталған нәтижелерді қамтитын ғылыми мақалаларға ерекше назар аударылды.

Ғылыми басылымдарды талдау барысында күріш кебегінің нан-тоқаш өнімдерінде функционалды ингредиент ретінде әлеуеті бар екенін көрсетті. Ғылыми дереккөздерді шолу осы шикізаттың негізгі қолданылуын анықтауға және оның өнімдердің тағамдық, биологиялық және технологиялық қасиеттеріне әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Күріш кебегі липидтерге бай, оның құрамында тұтас дәнді күрішке қарағанда 6,1 есе және күріш жармасына қарағанда 16 есе көп екен. Қанықпаған май қышқылдары күріш

кебегі липидтерінің май қышқылдарының құрамының 83,3%-ын құрайды. Күріш кебегінде күшті антиоксиданттар ретінде маңызды рөл атқаратын және есте сақтау процестері мен эндокриндік бездердің қызметін реттеуге қатысатын ұзын тізбекті полиқанықпаған май қышқылдарының  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 және  $\omega$ -9 көп мөлшері бар. Күріш кебегінде қабығы аршылған күрішке қарағанда B1 дәрумені 6,5 есе және күріш жармасына қарағанда 30 есе көп, ал оның құрамындағы B2 дәрумені қабығы аршылған күрішке қарағанда 3,8 есе және күріш жармасына қарағанда 13,5 есе жоғары. Автордың ғылыми зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, минералды құрамы барлық дәнді дақылдар үшін жетіспейтін кальций мөлшері бойынша ұн күріш дәнінен 2,1 есе, калийден 7,5 есе, фосфордан 6,5 есе, темірден 10 есе және марганецтен 2,5 есе асып түсетіні көрсетеді [2].

Күріш кебегімен байытылған өнімдер тамақ өнеркәсібінде маңызды рөл атқара алады. Функционалды тағамдарды әзірлеу үшін бұл ұнды диеталарға қосу әртүрлі өнімдерді, соның ішінде күріш кебегінен жасалған өнімдерді дайындауда қолданылады [3].

Зерттеу барысында ғалымдардың нәтижелерін талдау кезінде, күріш кебегін нан-тоқаш технологиясында функционалды ингредиент ретінде пайдалану мүмкіндігін растауға болады. Бұл өнімдердің биологиялық құндылығын арттырып, технологиялық және органолептикалық қасиеттерін сақтауға мүмкіндік береді.

Көптеген зерттеулер көрсеткендей, күріш кебегінің құрамында құнды қоректік заттар бар екенін, бірақ липаза ферментінің белсенділігіне байланысты тез бұзылатынын көрсетеді. Ферменттеу технологиясы өнімнің тағамдық қасиеттерін микробтық метаболизм арқылы жақсартып алады. Тағамдық құндылықты жақсартудың технологиялық стратегиясы ретінде жеуге жарамды грам-оң бактерияларды пайдалана отырып, күріш кебегінің әртүрлі ферменттелген әдістері оңтайландырылды [6].

Күріш кебегін пісірілген тағамдарға қосу бидай ұнымен салыстырғанда минералды заттардың құрамын, сондай-ақ химиялық құрамын айтарлықтай жақсартып алады. Дегенмен, автордың ғылыми зерттеуі 0-ден 20%-ға дейін күріш кебегін қосу нанның меншікті көлемін азайтатынын көрсетеді. Меншікті көлемнің бұл төмендеуі бидай ақуызының құрамының төмендеуіне және соның соалдарынан өамырда сақталатын ауа мөлшерінің азаюына байланысты болуы мүмкін. Бұл зерттеудің нәтижелері нан-тоқаш өнімдеріне 10% күріш кебегін, ал кондитер өнімдеріне 20%қосуға болатынын көрсетті, бұл ретте сенсорлық және физика-химиялық қасиеттерді сақтайды [4,5].

Күріш кебегін сақтау маңызды аспект болып табылады, себебі оның химиялық құрамы, әсіресе майдың жоғары мөлшері және ферментативті белсенділігі оны тотығуға және ашытуға бейім етеді. Нәтижесінде, дұрыс емес сақтау жағдайлары өнімнің органолептикалық және технологиялық қасиеттерін нашарлатуы мүмкін. Бұл өз кезегінде нан-тоқаш өнімдерінің сапасына тікелей әсер етеді [6].

Болашақта мұндай технологиямен дайындалған нан-тоқаш өнімдері функционалдық қасиетке ие болуы мүмкін, халықтың салауатты тамақтану талаптарына толықтай жауап бере алады.

Жүргізілген шолу жұмыстары ферменттелген күріш кебегін нан-тоқаш өнімдерінің технологиясына енгізудің жоғары тиімділігі мен функционалдық маңыздылығын толықтай негіздей алады. Бұл биотехнологиялық өңдеу әдісін қолдану шикізат құрамындағы антинутриенттердің белсенділігін төмендетіп, минералды заттар мен дәрумендердің биожетімділігін арттыруға мүмкіндік беретін ең тиімді тәсіл екені анықталуы мүмкін. Тәжірибе барысында, күтілетін нәтижелер бойынша ұсынылған технология дайындалатын нан-тоқаш өнімдерінің құрылымдық-механикалық қасиеттерін жақсартып, жұмсағының серпімділігі мен кеуектілігін жоғарлатуы тиіс. Ферментация барысында түзілетін табиғи метаболиттер өнімге жағымды дәмдік сипат беріп, оның микробиологиялық тазалығын қамтамасыз етіп, сақтау мерзімін ұзартуға септігін тигізуі мүмкін. Бұл технология әдісі нан

кәсіпорындары үшін қолжетімді жанама шикізатты ұтымды пайдалануға және халықты емдік-профилактикалық бағыттағы сапалы өнімдермен қамтамасыз ете алады.

Болашақта, бұл технологияны өндірістік масштабта қолдану нан өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге септігін тигізіп, олардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруда маңызды рөл атқаруы мүмкін.

#### Әдебиет тізімі

1. Айрумян В.Ю., Сокол Н.В., Ольховатов Е.А. Химический состав продуктов переработки зерна риса и кукурузы для повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий- Ползуновский Вестник. – 2020. - №3. Б. 3-10.
2. Болдина А.А., Сокол Н.В., Санжаровская Н.С. Влияние рисовой муки на хлебопекарные свойства пшеничной муки. - Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т.40. - №1. – Б.5-10.
3. Moon S.H., Chang H.C. Rice bran fermentation using *Lactiplantibacillus plantarum* EM as a starter and the potential of the fermented rice bran as a functional food. *Foods*. 2021, 10(5), 978 <https://doi.org/10.3390/foods10050978>
4. Afroza S., Md Ruhul A., Md Omar F., Muhammad A.S., Md Zakir H.H., Md Alauddin. Fermented rice bran: a promising therapeutic agent against high-fat diet-induced metabolic disorders. *Food Science and Nutrition*. 2026. – 14(1).- e71439. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71439>
5. Bultum L.E., Emire S.A., Wolde Y.T. Influence of full fat rice bran from Ethiopian rice milling industries on nutritional qualities, physicochemical and sensory characteristics. *Iran J.Food Sci.Technol*. 2021, 18, 43-52.
6. Bee Ling Tan, Mohd Esa N., Lee Chin Ch. Rice bran: from Waste to nutritious food ingredients. *Nutrients*. 2023, 15(11), 2503. <https://doi.org/10.3390/nu15112503>

# PAXLALI DƏNLƏRİN UNUNDAN İSTİFADƏ EDƏRƏK ÇÖRƏK-BULKA MƏMULATLARININ QIDALILIQ DƏYƏRİNİN ARTIRILMASI

Kərim Ağalarlı

Magistrant, Üzvi maddələr və yüksəkmolekullu birləşmələrin texnologiyası" kafedrası

Təranə Ağayeva

Biologiya üzrə fəlsəfə doktoru, <http://orcid.org/0009-0009-7132-1526>

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (ADNSU)

Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU)

## XÜLASƏ

"Paxlalı dənələrin unundan istifadə edərək çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinin artırılması" mövzusu müasir qida sənayesində sağlam və funksional məhsulların hazırlanması baxımından aktualdır. Paxlalı bitkilər, xüsusilə noxud, mərçi, lobya və soya yüksək miqdarda bitki mənşəli zülal, qida lifləri, mineral maddələr və vitaminlərlə zəngindir. Bu səbəbdən onların un şəklində çörək-bulka məmulatlarının tərkibinə əlavə edilməsi məhsulun bioloji və qidalılıq dəyərini artırır.

Tədqiqatın əsas məqsədi paxlalı dənələrin unlarının çörək-bulka məmulatlarının keyfiyyətinə, kimyəvi tərkibinə və qida dəyərinə təsirini araşdırmaqdır. Bu unların buğda unu ilə müəyyən nisbətlərdə qarışdırılması nəticəsində məhsulun zülal miqdarı artır, lif tərkibi yüksəlir və daha faydalı qida məhsulu əldə olunur. Eyni zamanda belə məhsullar sağlam qidalanma, uşaq və pəhriz qidası üçün də əhəmiyyətli hesab edilir.

**Açar sözlər:** paxlalı dənələr, paxlalı un, çörək-bulka məmulatları, qidalılıq dəyəri, zülal, qida lifləri, mineral maddələr, funksional qida, sağlam qidalanma, buğda unu.

## INCREASING THE NUTRITIONAL VALUE OF BAKERY PRODUCTS USING LEGENDARY GRAIN FLOUR

### SUMMARY

The topic of "Increasing the nutritional value of bakery products using legume flour" is relevant in the modern food industry in terms of preparing healthy and functional products. Legumes, especially peas, lentils, beans and soybeans, are rich in a high amount of vegetable protein, dietary fiber, minerals and vitamins. Therefore, their addition to the composition of bakery products in the form of flour increases the biological and nutritional value of the product.

The main purpose of the study is to investigate the effect of legume flours on the quality, chemical composition and nutritional value of bakery products. As a result of mixing these flours with wheat flour in certain proportions, the protein content of the product increases, the fiber content increases and a more useful food product is obtained. At the same time, such products are also considered important for healthy nutrition, children's and diet food.

**Keywords:** legumes, legumes flour, bakery products, nutritional value, protein, dietary fiber, minerals, functional food, healthy nutrition, wheat flour.

### GİRİŞ

Müasir dövrdə əhəlinin sağlam və balanslı qidalanmasının təmin edilməsi qida sənayesinin qarşısında duran əsas vəzifələrdən biridir. İnsan orqanizminin gündəlik enerji, zülal, vitamin, mineral maddələr və qida liflərinə olan tələbatının ödənilməsində çörək-bulka məmulatları

mühüm yer tutur. Çörək insanların gündəlik qida rasionunda geniş istifadə olunan əsas məhsullardan biri olduğu üçün onun qidalılıq dəyərinin artırılması xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Ənənəvi çörək-bulka məmulatları əsasən buğda unundan hazırlanır. Buğda unu yüksək texnoloji xüsusiyyətlərə malik olsa da, bəzi hallarda onun zülal, mineral maddə və qida lifi tərkibi insan orqanizminin tələbatını tam ödəməyə bilər. Buna görə də çörək-bulka məmulatlarının tərkibinin zənginləşdirilməsi, onların bioloji dəyərinin yüksəldilməsi və daha faydalı məhsulların hazırlanması aktual məsələlərdən biri hesab olunur [1].

Bu baxımdan paxlalı dənələrin unundan istifadə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Noxud, mərci, lobya, soya və digər paxlalı bitkilər bitki mənşəli zülal, əvəzolunmaz amin turşuları, qida lifləri, dəmir, kalsium, fosfor və B qrupu vitaminləri ilə zəngindir. Paxlalı dənələrdən alınan unun çörək-bulka məmulatlarının tərkibinə əlavə edilməsi məhsulun qidalılıq və bioloji dəyərini artırır, eyni zamanda onun funksional xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır [2].

Paxlalı unların buğda unu ilə müəyyən nisbətlərdə qarışdırılması nəticəsində daha zəngin tərkibli çörək-bulka məmulatları əldə etmək mümkündür. Belə məhsullar yalnız enerji mənbəyi kimi deyil, həm də sağlam qidalanmaya xidmət edən funksional qida məhsulu kimi qiymətləndirilir. Xüsusilə zülal çatışmazlığının azaldılması, lif qəbulunun artırılması və pəhriz yönümlü qida məhsullarının istehsalı baxımından paxlalı unlardan istifadə səmərəli hesab olunur.

Paxlalı dənələrin unundan istifadə etməklə çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinin artırılması həm elmi, həm də praktiki baxımdan aktualdır. Bu istiqamətdə aparılan araşdırmalar yeni çeşidli, daha faydalı və keyfiyyətli çörək-bulka məmulatlarının hazırlanmasına imkan yaradır.

Paxlalı dənələrin unundan istifadə çörək-bulka məmulatlarının yalnız qidalılıq dəyərini deyil, həm də istehlak keyfiyyətini artırmaq baxımından da mühüm əhəmiyyətə malikdir. Bu unlar məhsulun tərkibində zülalın, qida liflərinin və mineral maddələrin miqdarını yüksəldir. Nəticədə çörək daha doymulu, faydalı və sağlam qidalanma tələblərinə uyğun məhsula çevrilir. Xüsusilə buğda ununda bəzi amin turşularının miqdarı məhdud olduğu halda, paxlalı unların əlavə edilməsi həmin çatışmazlığın müəyyən qədər aradan qaldırılmasına kömək edir [4].

Çörək-bulka məmulatlarının hazırlanmasında paxlalı dənə unlarının tətbiqi zamanı onların miqdarı düzgün seçilməlidir. Çünki paxlalı unların çox istifadə olunması xəmirin texnoloji xüsusiyyətlərinə, həcmində, məsaməliliyinə, dadına və rənginə təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən buğda unu ilə paxlalı unların optimal nisbətdə qarışdırılması vacibdir. Məsələn, noxud və mərci ununun az miqdarda əlavə olunması məhsulun qida dəyərini artırmaqla yanaşı, onun dad və görünüş xüsusiyyətlərini də qənaətbəxş səviyyədə saxlayır.

Bu mövzunun öyrənilməsi həm də funksional qida məhsullarının istehsalı baxımından əhəmiyyətlidir. Müasir istehlakçılar yalnız dadlı deyil, eyni zamanda sağlamlığa faydalı qida məhsullarına üstünlük verirlər. Paxlalı unlarla zənginləşdirilmiş çörək-bulka məmulatları orqanizmin zülal və lif tələbatının ödənilməsinə kömək edir, həzm prosesinə müsbət təsir göstərir və uzun müddət toxluq hissi yaradır. Bu xüsusiyyətlər həmin məhsulların gündəlik qidalanmada daha faydalı seçim olmasına imkan verir [5].

Paxlalı dənələrin yerli xammal kimi istifadəsi qida sənayesi üçün iqtisadi baxımdan da səmərəlidir. Yerli kənd təsərrüfatı məhsullarından istifadə istehsal xərclərinin azaldılmasına, yeni məhsul çeşidlərinin yaradılmasına və daxili bazarda sağlam qida məhsullarının artırılmasına şərait yaradır. Bu isə həm istehsalçılar, həm də istehlakçılar üçün müsbət nəticələr yaradır. Paxlalı dənələrin unundan istifadə etməklə çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinin artırılması qida sənayesində mühüm istiqamətlərdən biri hesab olunur. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar daha keyfiyyətli, faydalı və balanslaşdırılmış tərkibə malik çörək-bulka məhsullarının hazırlanmasına imkan verir. Nəticədə ənənəvi çörək məhsulları daha yüksək bioloji dəyərə malik funksional qida məhsulu kimi qiymətləndirilə bilər.





**Şəkil 1. Paxlalı dənələr və onlardan alınan un nümunələri**

Şəkildə müxtəlif paxlalı dənələr və onlardan alınan un nümunələri göstərilmişdir. Paxlalı dənələr, xüsusilə mərci, noxud, lobya və soya yüksək zülal, qida lifi, mineral maddələr və vitaminlərlə zəngin olduğu üçün çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinin artırılmasında mühüm xammal hesab olunur. Bu unların buğda unu ilə müəyyən nisbətlərdə qarışdırılması məhsulun bioloji dəyərini yüksəldir və daha sağlam qida məhsulu əldə edilməsinə imkan yaradır.



**Şəkil 2. Çörək-bulka məmulatının daxili məsaməli quruluşu**

Cədvəl 1

Paxlalı dən unlarının çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinə təsiri

| Paxlalı un növü             | Əsas qida komponentləri                              | Çörək-bulka məmulatına təsiri                                                          | İstifadə üstünlüyü                                                     |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Noxud unu                   | Zülal, qida lifi, dəmir, fosfor, B qrupu vitaminləri | Məhsulun zülal və lif miqdarını artırır, toxluq hissini gücləndirir                    | Funksional və pəhriz yönümlü məhsullar üçün uyğundur                   |
| Mərçi unu                   | Bitki mənşəli zülal, lif, dəmir, sink, fol turşusu   | Çörəyin bioloji dəyərini yüksəldir, mineral tərkibini zənginləşdirir                   | Qidalılığı artırılmış çörək istehsalında səmərəlidir                   |
| Lobyə unu                   | Zülal, kalium, maqnezium, qida lifləri               | Məhsulun enerji və mineral dəyərini artırır                                            | Sağlam qidalanma üçün faydalı xammal hesab olunur                      |
| Soya unu                    | Yüksək zülal, yağ, lesitin, kalsium                  | Çörəyin zülal tərkibini əhəmiyyətli dərəcədə artırır, məhsulun qida dəyərini yüksəldir | Zülalla zənginləşdirilmiş məhsullar üçün daha əlverişlidir             |
| Noxud və mərçi unu qarışığı | Zülal, lif, mineral maddələr, amin turşuları         | Məhsulun dadını, qidalılığını və funksional xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır             | Müxtəlif çeşidli çörək-bulka məmulatlarının hazırlanmasına imkan verir |

Cədvəldə müxtəlif paxlalı dən unlarının çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərində təsiri göstərilmişdir. Paxlalı unlar məhsulun zülal, qida lifi, vitamin və mineral maddələrlə zənginləşməsinə kömək edir. Bu isə ənənəvi çörək-bulka məmulatlarının daha faydalı və funksional qida məhsuluna çevrilməsinə şərait yaradır.

Cədvəl 2

Çörək-bulka məmulatlarında paxlalı dən unlarının istifadə imkanları

| No | Paxlalı dən unu                   | Təklif olunan əlavə miqdarı | Məhsula təsiri                                                   | Qidalılıq baxımından üstünlüyü                                      |
|----|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1  | Noxud unu                         | 5–15%                       | Çörəyin rəngini bir qədər sarımtıl edir, dadını zənginləşdirir   | Zülal, dəmir, fosfor və qida liflərini artırır                      |
| 2  | Mərçi unu                         | 5–10%                       | Məhsulun dadına yumşaq paxlalı aroması verir                     | Zülal, fol turşusu, sink və lif mənbəyidir                          |
| 3  | Lobyə unu                         | 5–10%                       | Xəmirin quruluşuna təsir edir, məhsulun qidalılığını artırır     | Kalium, maqnezium və bitki mənşəli zülalla zəngindir                |
| 4  | Soya unu                          | 5–12%                       | Çörəyin zülal tərkibini yüksəldir, məhsulu daha doyumlu edir     | Yüksək keyfiyyətli zülal və lesitin mənbəyidir                      |
| 5  | Noxud-mərçi unu qarışığı          | 10–15%                      | Çörəyin funksional xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır                | Amin turşuları, lif və mineral maddələrlə zənginləşdirir            |
| 6  | Paxlalı unların kompleks qarışığı | 10–20%                      | Məhsulun qida dəyərini artırır, lakin miqdar düzgün seçilməlidir | Zülal, lif, vitamin və mineral maddələrin ümumi miqdarını yüksəldir |

Cədvəl 2-də müxtəlif paxlalı dən unlarının çörək-bulka məmulatlarında istifadə imkanları göstərilmişdir. Paxlalı unların müəyyən nisbətlərdə buğda ununa əlavə edilməsi məhsulun zülal, qida lifi, vitamin və mineral maddələrlə zənginləşməsinə səbəb olur. Lakin əlavə miqdarı normadan

artıq olduqda xəmirin elastikliyi, çörəyin həcmi və məsaməli quruluşu zəifləyə bilər. Buna görə optimal istifadə miqdarı əsasən 5–20% aralığında seçilir.

## NƏTİCƏ

Paxlalı dənələrin unundan istifadə etməklə çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq dəyərinin artırılması qida sənayesi üçün mühüm və aktual istiqamətlərdən biridir. Araşdırma göstərir ki, noxud, mərci, lobya və soya kimi paxlalı bitkilər zülal, qida lifləri, mineral maddələr və vitaminlərlə zəngin olduğu üçün onların un şəklində çörək məmulatlarına əlavə edilməsi məhsulun bioloji dəyərini yüksəldir.

Ənənəvi buğda unundan hazırlanan çörək əsasən enerji mənbəyi kimi çıxış edir. Lakin paxlalı unların əlavə olunması nəticəsində çörək-bulka məmulatları daha faydalı, zülalla zəngin və funksional qida məhsuluna çevrilir. Bu cür məhsullar sağlam qidalanma, pəhriz rasionu və gündəlik qida tələbatının daha səmərəli ödənilməsi baxımından əhəmiyyətlidir.

Eyni zamanda paxlalı unların istifadəsi məhsulun tərkibini zənginləşdirsə də, onların miqdarı düzgün seçilməlidir. Çünki paxlalı unların normadan artıq əlavə edilməsi xəmirin quruluşuna, çörəyin həcminə, məsaməliliyinə və dad xüsusiyyətlərinə təsir göstərə bilər. Buna görə də buğda unu ilə paxlalı unların optimal nisbətdə qarışdırılması daha keyfiyyətli məhsul əldə etməyə imkan verir.

Paxlalı dənələrindən istifadə çörək-bulka məmulatlarının qidalılıq və funksional xüsusiyyətlərinin artırılması üçün səmərəli üsul hesab olunur. Bu istiqamətdə yeni resepturaların hazırlanması, müxtəlif paxlalı unların müqayisəli şəkildə öyrənilməsi və istehsalata tətbiqi sağlam qida məhsullarının çeşidinin genişləndirilməsinə şərait yarada bilər.

## ƏDƏBİYYAT

1. Bojňanská, T., Musilová, J., & Vollmannová, A. (2021). *Effects of adding legume flours on the rheological and breadmaking properties of dough*. Foods, 10(5), 1087. doi:10.3390/foods10051087
2. Boukid, F., Zannini, E., Carini, E., & Vittadini, E. (2019). *Pulses for bread fortification: A necessity or a choice?* Trends in Food Science & Technology, 88, 416–428. doi:10.1016/j.tifs.2019.04.007
3. Cauvain, S. P. (2015). *Technology of breadmaking* (3rd ed.). Springer.
4. Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2007). *Technology of breadmaking* (2nd ed.). Springer.
5. Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. Journal of Food Science and Technology, 49, 255–266. doi:10.1007/s13197-011-0365-5
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Pulses: Nutritious seeds for a sustainable future*. FAO.
7. Jahreis, G., Brese, M., Leiterer, M., Schäfer, U., & Böhm, V. (2016). Legume flours: Nutritionally important sources of protein and dietary fiber. Ernährungs Umschau, 63(2), 36–42. doi:10.4455/eu.2016.007
8. Man, S. M. (2012). *Bread and bakery products: Technology, chemistry and microbiology*. Wiley-Blackwell.
9. Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., & Paliwal, J. (2022). Implications of blending pulse and wheat flours on rheology and quality characteristics of baked goods: A review. Foods, 11(20), 3287. doi:10.3390/foods11203287
10. Pulse Canada. (2022). *Canadian lentil flour in bakery*. Pulse Canada.
11. Rosell, C. M., & Garzon, R. (2015). Chemical composition of bakery products. In Y. H. Hui (Ed.), *Bakery products science and technology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

12. Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S. Y., & Perera, C. O. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *Journal of Food Science*, 75(8), R163–R174. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x
13. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., & Therdthai, N. (Eds.). (2014). *Bakery products science and technology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
14. Гатилин, Н. Ф. (2005). *Проектирование хлебозаводов*. Москва: Пищевая промышленность.
15. Дробот, В. И. (2015). *Технология хлебопекарного производства*. Киев: Логос.

## Technical Sciences

# İNKİŞAF ETMƏKDƏ OLAN ÖLKƏLƏRİN DÖVLƏT İDARƏÇİLİYİNDƏ SÜNİ İNTELLEKT: ƏSAS PROBLEMLƏR, RİSKLƏR VƏ İMKANLAR — AZƏRBAYCAN, GÜRCÜSTAN, QAZAXISTAN VƏ HİNDİSTANIN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ

Məmmədli Mətin Zaur

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, Elmi Dərəcə / Magistrant

**Xülasə:** Süni intellektin (Sİ) dövlət idarəçiliyinə integrasiyası inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün həm transformativ imkanlar, həm də dərin struktur məhdudiyyətlər yaradır. Bu məqalədə Azərbaycan, Gürcüstan, Qazaxıstan və Hindistanın dövlət idarəçiliyindəki Sİ tətbiqləri müqayisəli şəkildə araşdırılır. Tədqiqat institusional nəzəriyyəyə, ictimai dəyər nəzəriyyəsinə və rəqəmsal inkişafın siyasi iqtisadiyyatına əsaslanaraq altı kateqoriya struktur problemi müəyyən edir, on altı maddəlik risk taksonomiyası hazırlayır və əsas fürsət kateqoriyaları araşdırır. Müqayisəli dəlillər göstərir ki, inkişaf etməkdə olan ölkələrdə Sİ idarəetmə nəticələri texnoloji deyil, institusional cəhətdən formalaşmışdır. Məqalə Sİ idarəetmə risklərini idarə etməklə yanaşı onun transformativ potensialından istifadə etmək istəyən ölkələr üçün siyasi tövsiyələr irəli sürür.

**Açar sözlər:** süni intellekt, dövlət idarəçiliyi, inkişaf etməkdə olan ölkələr, rəqəmsal transformasiya, institusional tutum, tənzimləmə, Azərbaycan, Hindistan, müqayisəli siyasət

**Abstract:** The integration of artificial intelligence (AI) into public governance presents both transformative opportunities and deep structural constraints for developing countries. This article provides a comparative analysis of AI applications in public administration across Azerbaijan, Georgia, Kazakhstan, and India. Drawing on institutional theory, public value theory, and the political economy of digital development, the study identifies six categories of structural problems, develops a sixteen-item risk taxonomy, and examines key opportunity categories. Comparative evidence suggests that AI governance outcomes are institutionally shaped rather than technologically predetermined, and vary significantly across the four study countries. The article concludes with policy recommendations for countries seeking to harness AI's transformative potential while managing its governance risks.

**Keywords:** artificial intelligence, public governance, developing countries, digital transformation, institutional capacity, regulation, Azerbaijan, India, comparative policy



## 1. GİRİŞ

Süni intellektin (Sİ) dövlət idarəçiliyinə tətbiqi dünya ölkələri üçün iyirmi birinci əsrin ən mühüm idarəetmə sınaqlarından birinə çevrilmişdir. İnkişaf etmiş ölkələrdə Sİ texnologiyaları dövlət xidmətlərinin avtomatlaşdırılmasında, vergi yığımının optimallaşdırılmasında və ictimai təhlükəsizliyin gücləndirilməsində geniş tətbiq tapsa da, inkişaf etməkdə olan ölkələr zəif institusional infrastruktur, məhdud maliyyə resursları, rəqəmsal savadlılığın aşağı səviyyəsi və tənzimləyici boşluqlar kimi özünəməxsus çətinliklərlə üzləşir. Bu məqalə müqayisəli institusional təhlil vasitəsilə Azərbaycan, Gürcüstan, Qazaxıstan və Hindistanda Sİ idarəçiliyinin struktur problemlərini, risklərini və imkanlarını müəyyənləşdirərək siyasət tövsiyələri hazırlamağı hədəfləyir. Metodoloji baxımdan nəzəri nümunə analizi, sənəd təhlili və akademik ədəbiyyatın sintezi tətbiq edilir; nəzəri əsasını institusional nəzəriyyə (North, 1990; Acemoglu & Robinson, 2012), ictimai dəyər nəzəriyyəsi (Moore, 1995) və rəqəmsal inkişafın siyasi iqtisadiyyatı (Mansell, 2017) təşkil edir.

## 2. TƏDQIQAT

### 2.1. Nəzəri Çərçivə

Institusional nəzəriyyəyə görə Sİ texnologiyaları öz-özlüyündə idarəçiliyi yaxşılaşdırma bilməz — onların uğuru mövcud institusional mühitdən asılıdır; korrupsiya və hesabatlılıq boşluqları olan kontekstlərdə Sİ bu problemləri aradan qaldırmaq əvəzinə, daha da möhkəmləndirə bilər (North, 1990). İctimai dəyər nəzəriyyəsi (Moore, 1995) Sİ tətbiqlərinin legitim olması üçün siyasi legitimlik, operativ effektivlik və vətəndaş etibarını tələb etdiyini vurğulayır. Rəqəmsal inkişafın siyasi iqtisadiyyatı (Mansell, 2017; Gurumurthy & Chami, 2020) isə inkişaf etməkdə olan ölkələrin Sİ texnologiyalarını əsasən inkişaf etmiş ölkələrin korporasiyalarından idxal etməsinin yeni bir texnoloji asılılıq formasına çevrilmə riskini ön plana çəkir.

### 2.2. Əsas Struktur Problemləri

Inkişaf etməkdə olan ölkələrdə Sİ idarəçiliyinin qarşısında altı əsas struktur problemi dayanır və bu problemlər texnoloji inkişafın dövlət idarəçiliyinə effektiv integrasiyasını çətinləşdirir.

Birinci problem institusional tutum çatışmazlığıdır. Bir çox ölkələrdə süni intellekt texnologiyalarını hazırlamaq, tətbiq etmək və nəzarətdə saxlamaq üçün kifayət qədər ixtisaslı kadr, texniki prosedur və maliyyə resursu mövcud deyil. Azərbaycanda bu sahədə institusional boşluq daha aydın hiss olunur, Qazaxıstanda isə texniki mütəxəssislərin mövcudluğuna baxmayaraq dövlət strukturları arasında koordinasiya və integrasiya tam formalaşmamışdır (Nurlanovna & Beisenova, 2021). Nəticədə, texnologiyanın tətbiqi parçalanmış və qeyri-sistemli xarakter daşıyır. İnsanlar əvvəlcə sistemi qurur, sonra isə niyə işləmədiyinə dair üç illik komissiya yaradırlar. Bürokratiyanın klassik idman növü.

İkinci problem məlumat infrastrukturu boşluqları ilə bağlıdır. Sİ sistemlərinin effektiv fəaliyyəti üçün böyük həcmdə keyfiyyətli və integrasiya olunmuş məlumat bazası tələb olunur. Hindistanda Aadhaar sisteminin geniş tətbiqinə baxmayaraq məlumat keyfiyyəti, identifikasiya səhvləri və məlumatların vahid platformada birləşdirilməsi problemləri qalmaqdadır (Khera, 2019). Məlumatların natamam və ya qeyri-dəqiq olması isə Sİ alqoritmlərinin səhv qərarlar verməsinə səbəb ola bilər.

Üçüncü problem tənzimləyici çərçivə çatışmazlığıdır. Araşdırılan ölkələrin heç birində Sİ idarəçiliyini tam əhatə edən kompleks və effektiv qanunvericilik sistemi formalaşmamışdır. Mövcud hüquqi normalar əsasən ənənəvi rəqəmsal texnologiyalar üçün nəzərdə tutulduğundan, alqoritmik qərarvermə, məlumat təhlükəsizliyi və etik məsuliyyət kimi məsələlər hüquqi boşluq yaradır. Bu isə həm vətəndaş hüquqlarının qorunmasını, həm də dövlətin hesabatlılıq mexanizmlərini zəiflədir.

Dördüncü problem rəqəmsal uçurum dinamikasındır. Şəhər və kənd əraziləri, müxtəlif gəlir qrupları və gender arasında rəqəmsal imkanlara çıxış fərqləri mövcuddur. İnternetə, texnologiyaya

və rəqəmsal bacarıqlara çıxış imkanları qeyri-bərabər olduqda Sİ sistemləri mövcud sosial bərabərsizlikləri daha da dərinləşdirə bilər. Xüsusilə kənd ərazilərində yaşayan əhali rəqəmsal dövlət xidmətlərindən tam istifadə edə bilmədikdə sosial inklüzivlik zəifləyir.

Beşinci problem hesabatlılıq çatışmazlığıdır. Sİ sistemlərinin “qara qutu” xarakteri, yəni qərarların necə qəbul olunduğunun tam aydın olmaması demokratik nəzarət üçün ciddi maneə yaradır. Dövlət idarəçiliyində istifadə olunan alqoritmlər şəffaf olmadıqda vətəndaşlar qəbul edilən qərarların məntiqini anlaya bilmir, bu isə ictimai etimadı zəiflədir. Bir sistem “alqoritm belə qərar verdi” deyə cavab verəndə məsuliyyət havaya qarışır. Sanki səhvi heç kim etməyib, kompüter özü emosional qərar qəbul edib.

Altıncı problem siyasi iqtisadiyyatın təhrifləri ilə bağlıdır. Bəzi hallarda siyasi elitələr rəqəmsal transformasiyanı ictimai fayda üçün deyil, şəxsi və ya siyasi maraqların qorunması üçün istifadə edirlər. Bu şəraitdə Sİ texnologiyaları idarəetmədə şəffaflıq və səmərəlilik yaratmaq əvəzinə nəzarət mexanizminə çevrilə bilər. Nəticədə, texnologiyanın transformativ potensialı tam reallaşmır və rəqəmsallaşma prosesi formal xarakter daşıyır.

### 2.3. Müqayisəli Ölkə Təhliləri

Azərbaycan ASAN xidmət sistemi ilə beynəlxalq mükafatlara layiq görülmüş; Rəqəmsal Azərbaycan Proqramı (2018–2020) eHökumət xidmətlərini genişləndirmişdir. Bununla belə, neft gəlirlərindən asılılıq, müstəqil tənzimləyici qurumların zəifliyi və mülki cəmiyyətin dar fəaliyyət məkanı Sİ idarəçiliyinin şəffaflığını məhdudlaşdırır. Gürcüstan 2003-cü il islahatlarından sonra postsovet məkanında nümunəvi hesabatlılıq mühiti yaratmış; «Rəqəmsal Gürcüstan» strategiyası (2021) və GITA-nın proqramları Avropa İttifaqı standartlarına uyğun Sİ çərçivəsinin formalaşmasını dəstəkləyir (Georgian Innovation and Technology Agency, 2022); kiçik iqtisadi miqyas və siyasi qütbləşmə əsas çətinliklərdir. Qazaxıstan «Rəqəmsal Qazaxıstan» Proqramı (2018–2022) və 2021-ci ildəki Sİ Strategiyası ilə regionda lider mövqe tutur; Çin şirkətlərinə (Huawei, Alibaba Cloud) xarici texnoloji asılılıq və bürokratik inertlik isə strateji narahatlıq mənbəyidir. Hindistan 1,4 milyard vətəndaşı əhatə edən Aadhaar sistemi, JAM Trinity və «AI for All» (2018) strategiyası ilə dünyanın ən böyük rəqəmsal idarəçilik eksperimentini həyata keçirir; IIT şəbəkəsi və inkişaf etmiş özəl sektor üstünlük, daxili müxtəliflik və biometrik məlumat mühafizəsi isə əsas çətinlik təşkil edir (Khera, 2019; Datta, Bhatt & Walia, 2020).

*Cədvəl 1. Dörd ölkədə Sİ idarəçiliyinin müqayisəli xülasəsi*

| Ölkə       | Model             | Tutum            | Əsas Güclər                 | Əsas Çətinliklər               |
|------------|-------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Azərbaycan | Mərkəzləşdirilmiş | Orta             | ASAN xidmət, sürətli icra   | Neftdən asılılıq, hesabatlılıq |
| Gürcüstan  | İslahatçı         | Orta             | AB inteqrasiyası, şəffaflıq | Kiçik miqyas, maliyyə          |
| Qazaxıstan | Strateji planlama | Yüksək potensial | Sİ Strategiyası, kadrlar    | Bürokratik inertlik, asılılıq  |
| Hindistan  | Federativ         | Yüksək miqyas    | Özəl sektor, IIT, UPI       | Daxili müxtəliflik, məxfilik   |

### 2.4. Risk Taksonomiyası və İmkan Kateqoriyaları

İnkişaf etməkdə olan ölkələrdə Sİ idarəçiliyinin riskləri altı ölçüdə on altı maddəyə qruplaşdırılır. Texnoloji risklər: alqoritm qərəzliliyi, kibertəhlükəsizlik zəiflikləri, xarici texnoloji asılılıq, sistem dayandırılmasının pozuntuları. Məlumat riskləri: şəxsi məlumatların sızdırılması, məlumat manipulyasiyası, icazəsiz istifadə, inteqrasiya uğursuzluqları; Aadhaar nümunəsi bu



risklərin milyardlarla insanı əhatə edə biləcəyini göstərir. Sosial risklər: avtomatlaşdırmadan yaranan işsizlik, rəqəmsal uçurumun dərinləşməsi. Siyasi risklər: nəzarətin genişləndirilməsi (surveillance creep), algoritmik hesabatlılıq çatışmazlığı. İqtisadi risklər: büdcə aşımı, texnoloji inhisar. Hüquqi risklər: hüquqi boşluqlar, GDPR kimi beynəlxalq standartlarla uyğunsuzluq.

Eyni zamanda dörd ölkə üçün konkret imkanlar da mövcuddur. «Sıçrayış potensialı» Hindistanın UPI ekosistemi ilə sübuta yetirilib. Korrupsiyaya qarşı mübarizədə e-satınalma şəffaflığı və real vaxt monitorinqi mühüm alətlərdir; Azərbaycanda ASAN sisteminin birbaşa insan kontaktını azaltması rüşvətin azaldılmasına töhfə vermişdir. Xidmət çatdırılmasında Sİ chatbotlar və proqnozlaşdırıcı modellər bürokrasiyanın effektivliyini artırma bilər; gəlir səfərbərliyində isə Qazaxıstanın elektron vergi sistemi nümunəvi nailiyyət kimi qiymətləndirilir. Səhiyyə sahəsində erkən diaqnoz, epidemioloji proqnozlaşdırma və təchizat zəncirinin optimallaşdırılması kimi Sİ tətbiqləri az resurslara malik ölkələr üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

### 2.5. İdarəetmə Şərtləri

Müqayisəli dəlillər göstərir ki, Sİ imkanlarının reallaşması dörd institusional şərtə bağlıdır: (1) şəffaf hüquqi çərçivə — cavabdehlik və vətəndaş müdafiə mexanizmlərinin açıq müəyyənləşdirilməsi; (2) rəqəmsal savadlılığın artırılması — həm dövlət qulluqçuları, həm də vətəndaşlar arasında; (3) çoxmaraqlı tərəf iştirakı — mülki cəmiyyət, özəl sektor, akademiya və beynəlxalq tərəfdaşların cəlb edilməsi; (4) regional əməkdaşlıq — ən yaxşı təcrübələrin paylaşılması və xarici texnoloji asılılığın idarə edilməsi (OECD, 2021).

## 3. NƏTİCƏ

Bu müqayisəli araşdırma dörd əsas nəticə ortaya qoymuşdur. Birincisi, Sİ idarəçiliyinin nəticələri texnoloji deyil, institusional cəhətdən formalaşır — eyni texnologiyalar fərqli mühitlərdə köklü fərqli nəticələr verir. İkincisi, tənzimləyici çərçivənin mövcudluğu texnoloji infrastrukturun özü qədər vacibdir; bu boşluğu aradan qaldırmaq üçün dörd ölkə Avropa İttifaqının Sİ Aktından faydalana bilər. Üçüncüsü, korrupsiyaya qarşı mübarizə, vergi inzibatçılığı və xidmət çatdırılması sahəsindəki real imkanlar mövcuddur, lakin onların reallaşması institusional dürüstlüyü, hesabatlılığı və vətəndaş etibarını tələb edir. Dördüncüsü, xarici texnoloji asılılıq strateji risk kimi qalır; yerli ekosistemlərin gücləndirilməsi, açıq mənbəyə üstünlük verilməsi və tərəfdaşların şaxələndirilməsi bu riski azaldacaqdır. Siyasi tövsiyələr beş istiqaməti əhatə edir: Sİ-yə xas tənzimləyici çərçivənin hazırlanması; dövlət qulluqçularının rəqəmsal bacarıqlarının artırılması; çoxmaraqlı tərəf mexanizmlərinin institusionalaşdırılması; məlumat infrastrukturuna prioritet investisiyalar; regional əməkdaşlığın gücləndirilməsi. Nəticə etibarilə, inkişaf etməkdə olan ölkələr üçün Sİ-nin transformativ potensialının reallaşması güclü institusiyalara, şəffaf hüquqi bazaya və vətəndaş iştirakına bağlıdır; tərəqqinin istinad nöqtəsi texnologiyanın özü yox, ictimai dəyər və demokratik hesabatlılıq olmalıdır.

## ƏDƏBİYYAT

- Acemoglu, D., & Robinson, J. (2012). *Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty*. Crown Publishers.
- Datta, A., Bhatt, P., & Walia, S. (2020). Algorithmic governance and the challenge of democratic accountability in India. *Journal of Information Policy*, 10(2), 45–78.
- Georgian Innovation and Technology Agency. (2022). *Digital Georgia Strategy 2022–2025*. GITA. <https://gita.gov.ge/digital-strategy>
- Gurumurthy, A., & Chami, N. (2020). *The political economy of digital public infrastructure*. IT for Change. <https://itforchange.net/political-economy-dpi>
- Janowski, T. (2015). Digital government evolution: From transformation to contextualization. *Government Information Quarterly*, 32(3), 221–236.
- Khera, R. (2019). *Dissent on Aadhaar: Big Data Meets Big Brother*. Orient BlackSwan.

- Mansell, R. (2017). Political economy, power and new media. *New Media & Society*, 19(8), 1312–1318.
- Moore, M. H. (1995). *Creating Public Value: Strategic Management in Government*. Harvard University Press.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press.
- Nurlanovna, A., & Beisenova, A. (2021). Artificial intelligence in public administration: The case of Kazakhstan. *Central Asian Journal of Public Administration*, 4(1), 12–29. <https://doi.org/10.31489/cajpa.2021.4.1.12>
- OECD. (2021). *State of Implementation of the OECD AI Principles: Insights from National AI Policies*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1cd40c44-en>
- Saxena, S., & Janssen, M. (2017). Open government data (OGD) platforms and their usage for analytics. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 11(4), 602–624. <https://doi.org/10.1108/TG-05-2017-0030>
- Sun, T. Q., & Medaglia, R. (2019). Mapping the challenges of artificial intelligence in the public sector. *Government Information Quarterly*, 36(2), 368–383.
- Tangi, L., Janssen, M., Benedetti, M., & Noci, G. (2021). Digital government transformation: A structural equation modelling analysis. *International Journal of Information Management*, 60, 102356.
- United Nations. (2022). *UN E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government*. United Nations. <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022>
- World Bank. (2021). *GovTech Maturity Index: The State of Public Sector Digital Transformation*. World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1765-5>

# SÜNİ İNTELLEKT İLƏ İNTEQRASIYA OLUNMUŞ AĞILLI COĞRAFİ İNFORMASIYA SİSTEMLƏRİ: FORMALAŞMA İSTİQAMƏTLƏRİ, TƏTBİQ SAHƏLƏRİ VƏ İDARƏETMƏ ÇAĞIRIŞLARI

**Gültən Məhərrəmli Naib**

Magistrant, Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

## Xülasə

Müasir dövrdə coğrafi məlumatların həcmnin sürətlə artması, şəhərsalma, regional inkişaf, ekolojiya, nəqliyyat, kənd təsərrüfatı, fəvqəladə halların idarə edilməsi və dövlət xidmətlərinin planlaşdırılması kimi sahələrdə daha dəqiq, çevik və əsaslandırılmış qərarların qəbulunu zəruri edir. Bu prosesdə Coğrafi İnformasiya Sistemləri məkan məlumatlarının toplanması, emalı, təhlili və vizual təqdimatı üçün əsas texnoloji vasitələrdən biri kimi çıxış edir. Lakin rəqəmsal transformasiya mərhələsində CİS artıq yalnız xəritəçəkmə və məlumatların yerləşmə üzrə təsviri ilə məhdudlaşmır. Süni intellekt, maşın öyrənməsi, böyük dil modelləri və generativ texnologiyaların inkişafı CİS-in funksional imkanlarını genişləndirərək onu daha ağıllı, proqnozlaşdırıcı və avtomatlaşdırılmış qərar dəstəyi platformasına çevirir.

Məqalənin əsas məqsədi süni intellektlə integrasiya olunmuş ağıllı Coğrafi İnformasiya Sistemlərinin mahiyyətini, formalaşma xüsusiyyətlərini, funksional imkanlarını, tətbiq istiqamətlərini və idarəetmə problemlərini təhlil etməkdir. Məqalədə CİS-in nəzəri əsasları, süni intellektlə əlaqəsi, GeoAI anlayışı, ağıllı məkan analitikası, təbii dil əsaslı CİS interfeysləri, avtomatlaşdırılmış xəritəçəkmə və qərar dəstəyi imkanları araşdırılır. Eyni zamanda ağıllı CİS-in şəhərsalma, ekoloji monitoring, nəqliyyat idarəçiliyi, fəvqəladə hallar, kənd təsərrüfatı və ictimai xidmətlərin planlaşdırılması sahələrində tətbiq perspektivləri izah edilir. Nəticə olaraq müəyyən olunur ki, süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS sistemləri məkan məlumatlarının daha səmərəli idarə olunmasına mühüm töhfə versə də, onların geniş tətbiqi məlumat keyfiyyəti, model şəffaflığı, alqoritmik qərəzlilik, insan nəzarəti, etik məsuliyyət və hüquqi tənzimləmə məsələlərinin həllindən asılıdır.

**Açar sözlər:** Coğrafi İnformasiya Sistemləri, CİS, süni intellekt, GeoAI, ağıllı CİS, məkan analitikası, geoinformasiya texnologiyaları, böyük dil modelləri, avtomatlaşdırılmış xəritəçəkmə, qərar dəstəyi.

## Giriş

Müasir informasiya cəmiyyətində sosial, iqtisadi, ekoloji və idarəetmə proseslərinin böyük hissəsi müəyyən məkanla bağlıdır. Əhali məskunlaşması, infrastruktur obyektləri, torpaq ehtiyatları, nəqliyyat axınları, istehsal müəssisələri, təbii resurslar, risk zonaları və ictimai xidmət mərkəzləri konkret coğrafi mövqeyə malikdir. Bu səbəbdən müasir idarəetmədə məlumatların yalnız statistik göstəricilər əsasında deyil, həm də məkan üzrə yerləşməsi, paylanması və qarşılıqlı əlaqəsi baxımından təhlili xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Coğrafi İnformasiya Sistemləri məhz bu

ehtiyacdən yaranmış və zaman keçdikcə dövlət idarəçiliyinin, biznes planlaşdırmasının, ekoloji nəzarətin və elmi tədqiqatların mühüm texnoloji bazasına çevrilmişdir.

CİS məkan və atribut məlumatlarını birləşdirərək obyekt və hadisələrin coğrafi mühitdə necə yerləşdiyini, bir-biri ilə necə əlaqələndiyini və zaman ərzində necə dəyişdiyini öyrənməyə imkan verir. Ənənəvi CİS sistemlərində istifadəçi məlumatları özü seçir, analiz alətlərini özü müəyyən edir, xəritə qatlarını özü yaradır və nəticələri özü şərh edirdi. Bu yanaşma peşəkar CİS bilikləri tələb etdiyi üçün geniş istifadəçi qrupları üçün müəyyən çətinliklər yaradırdı. Lakin süni intellekt texnologiyalarının inkişafı CİS-in istifadə qaydasını və analitik imkanlarını əhəmiyyətli şəkildə dəyişdirmişdir.

Süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS istifadəçisinin verdiyi tapşırığı anlamaq, uyğun məlumatları müəyyənləşdirmək, analiz ardıcılığını qurmaq, nəticələri xəritə və hesabat formasında təqdim etmək, bəzi hallarda isə nəticələri izah və qiymətləndirmək imkanına malikdir. Belə sistemlər məkan məlumatlarının emalını daha sürətli, əlçatan və avtomatlaşdırılmış hala gətirir. Xüsusilə böyük dil modellərinin inkişafı CİS-də təbii dil əsaslı sorğuların tətbiqinə şərait yaratmışdır. Artıq istifadəçi mürəkkəb texniki əmrlər yazmadan “yaşayış məntəqələrinə ən yaxın səhiyyə obyektlərini göstər”, “daşqın riski yüksək olan əraziləri müəyyən et” və ya “yaşıl sahələrin az olduğu məhəllələri xəritələndir” kimi tapşırıqlar verə bilər.

Mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, süni intellekt əsaslı CİS texnologiyaları hələ tam formalaşma mərhələsindədir. Bu texnologiyalar böyük imkanlar təqdim etsə də, onların etibarlı tətbiqi bir sıra elmi, texniki, etik və idarəetmə problemlərinin həllini tələb edir. Məlumatların dəqiqliyi, koordinat sistemlərinin düzgün seçilməsi, alqoritmlərin şəffaflığı, model nəticələrinin izah oluna bilməsi, insan nəzarətinin saxlanılması və hüquqi məsuliyyət mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi bu problemlərin əsas istiqamətləridir. Buna görə də ağıllı CİS sistemlərini yalnız texnoloji yenilik kimi deyil, həm də idarəetmə və qərar qəbul etmə proseslərinə təsir edən kompleks informasiya infrastrukturunu kimi öyrənmək vacibdir.

### **CİS-in nəzəri əsasları və rəqəmsal transformasiya mərhələsi**

Coğrafi İnformasiya Sistemlərinin əsas mahiyyəti coğrafi obyektlər haqqında məkan və atribut məlumatlarının vahid informasiya mühitində birləşdirilməsindən ibarətdir. Məkan məlumatları obyektlərin yerləşmə mövqeyini, formasını, sərhədlərini və digər obyektlərlə əlaqəsini ifadə edir. Atribut məlumatları isə həmin obyektlərin keyfiyyət və kəmiyyət xüsusiyyətlərini göstərir. Məsələn, xəstəxananın koordinatları onun məkan məlumatı, adı, xidmət profili, çarpayı sayı və fəaliyyət statusu isə atribut məlumatıdır. CİS bu məlumatları əlaqələndirərək obyektləri yalnız ayrıca statistik vahid kimi deyil, real coğrafi sistemin elementi kimi təhlil etməyə imkan verir.

CİS-in mühüm xüsusiyyətlərindən biri məlumatların qatlar şəklində təşkilidir. Müxtəlif coğrafi obyektlər ayrı-ayrı tematik qatlar formasında sistemə daxil edilir. Yollar, binalar, su hövzələri, inzibati sərhədlər, əhali sıxlığı, torpaq istifadəsi, yaşıllıq sahələri və sosial xidmət obyektləri fərqli qatlar kimi təqdim oluna bilər. Bu qatların birgə təhlili daha mürəkkəb məkan problemlərinin həllinə şərait yaradır. Məsələn, yeni məktəb binasının yerləşdirilməsi üçün əhali sıxlığı, mövcud məktəblərin paylanması, yol şəbəkəsi, ictimai nəqliyyat dayanacaqları və torpaq sahələrinin hüquqi statusu birlikdə təhlil edilməlidir.

CİS-in inkişafı klassik kartoqrafiyadan rəqəmsal məkan analitikasına doğru uzun tarixi mərhələ keçmişdir. İlk dövrlərdə xəritələr əsasən obyektlərin yerləşməsini göstərmək üçün istifadə olunurdu. Kompüter texnologiyalarının inkişafı ilə xəritələr statik təsvir vasitəsindən dinamik analiz alətinə çevrildi. Daha sonra uzaqdan zondlama, GPS, mobil texnologiyalar, sensor şəbəkələri və bulud platformalarının inkişafı CİS-in məlumat bazasını genişləndirdi. Hazırda CİS yalnız lokal kompüter proqramı deyil, böyük məlumat axınları ilə işləyən, real vaxt rejimində yenilənən və müxtəlif informasiya sistemləri ilə integrasiya olunan rəqəmsal platformadır.

Rəqəmsal transformasiya mərhələsində CİS-in rolu daha da artmışdır. Dövlət qurumları şəhər planlaşdırılması, torpaq kadastrı, nəqliyyat idarəçiliyi, kommunal xidmətlər, fəvqəladə hallar

və ekoloji monitoring sahələrində CİS-dən geniş istifadə edir. Özəl sektor isə logistika, marketing, daşınmaz əmlak, pərakəndə satış və risk qiymətləndirilməsi sahələrində məkan analitikasına müraciət edir. Bu isə CİS-in yalnız texniki xəritəçəkmə sistemi deyil, strateji qərar dəstəyi vasitəsi olduğunu göstərir.

### **Süni intellekt və GeoAI anlayışının formalaşması**

Süni intellektin CİS ilə integrasiyası geoinformasiya elmlərində yeni istiqamətin - GeoAI-nin formalaşmasına səbəb olmuşdur. GeoAI coğrafi məlumatların süni intellekt, maşın öyrənməsi və avtomatlaşdırılmış analitik modellər vasitəsilə emalı və təhlili kimi izah oluna bilər. Bu yanaşma CİS-in ənənəvi funksiyalarını genişləndirərək sistemə proqnozlaşdırma, nümunə tanıma, təsnifat, optimallaşdırma və avtomatik qərar dəstəyi imkanları verir.

GeoAI-nin əsas üstünlüyü böyük həcmli və müxtəlif formatlı məkan məlumatlarının daha sürətli təhlil edilməsidir. Peyk təsvirləri, dron görüntüləri, mobil telefon məlumatları, sensor göstəriciləri, sosial media məlumatları və açıq məkan verilənləri ənənəvi üsullarla emal edildikdə çox vaxt böyük resurs tələb edir. Süni intellekt modelləri isə bu məlumatlarda gizli qanunauyğunluqları, dəyişiklikləri və risk göstəricilərini müəyyən edə bilər. Məsələn, peyk təsvirləri əsasında meşə örtüyünün azalması, su hövzələrinin dəyişməsi, qanunsuz tikililər və kənd təsərrüfatı sahələrinin vəziyyəti avtomatik aşkarlana bilər.

Süni intellekt CİS-də bir neçə əsas istiqamətdə tətbiq olunur. Birinci istiqamət təsvirlərin avtomatik təsnifatıdır. Bu zaman peyk və aerofoto görüntülərində torpaq istifadəsi, bitki örtüyü, su obyektləri və tikili sahələr müəyyən edilir. İkinci istiqamət məkan proqnozlaşdırmasıdır. Burada daşqın, sürüşmə, yanğın, nəqliyyat sıxlığı və xəstəlik yayılması kimi proseslərin gələcək inkişafı modelləşdirilir. Üçüncü istiqamət obyekt və nümunə tanımadır. Bu istiqamətdə yollar, binalar, kənd təsərrüfatı sahələri, sənaye obyektləri və digər elementlər avtomatik müəyyənləşdirilir. Dördüncü istiqamət isə təbii dil əsaslı CİS idarəetməsidir. Bu mərhələdə istifadəçi texniki menyular əvəzinə adi cümlələrlə sistemə tapşırıq verir.

Böyük dil modellərinin inkişafı GeoAI-nin yeni mərhələyə keçməsinə şərait yaratmışdır. Bu modellər yalnız məlumatları emal etmir, həm də istifadəçinin niyyətini başa düşür, tapşırığı alt mərhələlərə ayırır, uyğun analiz alətlərini seçir və nəticələri izah edir. Bu xüsusiyyət CİS-in daha geniş auditoriya üçün əlçatan olmasına imkan yaradır. Beləliklə, süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS peşəkar mütəxəssislər üçün məhsuldarlıq vasitəsi, qeyri-mütəxəssislər üçün isə sadələşdirilmiş analitik platforma rolunu oynayır.

### **Ağıllı CİS sistemlərinin funksional imkanları**

Ağıllı CİS sistemləri ənənəvi CİS-dən fərqli olaraq yalnız istifadəçinin verdiyi əmrləri icra etmir, həm də tapşırığın məzmununu anlamağa, uyğun məlumatları seçməyə və analiz prosesini müəyyən dərəcədə planlaşdırmağa çalışır. Bu sistemlərin əsas funksional imkanları məlumatların avtomatik hazırlanması, geoişləmə əməliyyatlarının optimallaşdırılması, proqnozlaşdırıcı modelləşdirmə, kartoqrafik vizuallaşdırma və qərar dəstəyindən ibarətdir.

Məlumatların avtomatik hazırlanması ağıllı CİS-in əsas funksiyalarından biridir. Müxtəlif mənbələrdən daxil olan məlumatlar çox vaxt fərqli formatlarda, koordinat sistemlərində və keyfiyyət səviyyələrində olur. Ağıllı sistem bu məlumatların uyğunluğunu yoxlamalı, çatışmayan dəyərləri müəyyən etməli, təkrarlanan məlumatları aradan qaldırmalı və analiz üçün yararlı struktur formalaşdırmalıdır. Bu mərhələ düzgün icra olunmadıqda sonrakı analiz nəticələri etibarlı olmaya bilər.

Geoişləmə əməliyyatlarının avtomatlaşdırılması ağıllı CİS-in ikinci mühüm funksiyasıdır. Bufer zonalarının yaradılması, obyektlərin kəsilməsi, qatların birləşdirilməsi, məsafə və sahə hesablamaları, şəbəkə analizi və uyğunluq modelləri ənənəvi CİS-də istifadəçi tərəfindən ayrıca seçilirdi. Ağıllı CİS isə verilmiş tapşırıqda uyğun olaraq bu əməliyyatların ardıcılığını avtomatik qura bilər. Məsələn, "əhalinin 15 dəqiqə ərzində çata biləcəyi tibb məntəqələrini müəyyən et" tapşırığı

verildikdə sistem yol şəbəkəsini, tibb obyektlərini, əhali paylanmasını və hərəkət sürəti göstəricilərini birlikdə təhlil etməlidir.

Proqnozlaşdırıcı modelləşdirmə ağıllı CİS-in daha inkişaf etmiş funksiyasıdır. Bu funksiya keçmiş və cari məlumatlar əsasında gələcək riskləri və dəyişiklikləri qiymətləndirməyə imkan verir. Daşqın ehtimalı, şəhər genişlənməsi, torpaq istifadəsinin dəyişməsi, nəqliyyat tıxacları və ekoloji çirklənmə kimi məsələlərdə proqnoz modelləri mühüm əhəmiyyət daşıyır. Süni intellekt modelləri müxtəlif ssenariləri müqayisə etməklə qərar qəbul edən şəxslərə daha əsaslandırılmış seçim imkanı yaradır.

Kartoqrafik vizuallaşdırma da ağıllı CİS-in əsas istiqamətlərindən biridir. Xəritənin hazırlanması yalnız texniki məlumatların yerləşdirilməsi deyil, həm də vizual oxunaqlılıq, rəng seçimi, miqyas, leyenda, simvollar və auditoriya ehtiyaclarının nəzərə alınması ilə bağlıdır. Ağıllı CİS xəritənin məqsədinə uyğun dizayn variantları təklif edə, məlumat sıxlığını tənzimləyə və nəticələri daha anlaşıqlı formada təqdim edə bilər.

#### **Avtomatlaşdırma səviyyələri və insan nəzarəti**

Süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS sistemlərini avtomatlaşdırma səviyyəsinə görə mərhələli şəkildə qiymətləndirmək mümkündür. Birinci mərhələdə sistem yalnız təkrarlanan əməliyyatları avtomatlaşdırır. Bu mərhələdə istifadəçi analiz məntiqini özü müəyyən edir, sistem isə əvvəlcədən hazırlanmış skript və modelləri icra edir. Məsələn, hər ay yenilənən əhali xəritəsinin hazırlanması və ya müəyyən sərhədlər üzrə statistik göstəricilərin çıxarılması bu səviyyəyə aid edilə bilər.

İkinci mərhələdə sistem iş axını müəyyən etməyə başlayır. İstifadəçi ümumi məqsədi bildirir, sistem isə uyğun əməliyyat ardıcılığını təklif edir. Məsələn, "sürüşmə riski yüksək olan əraziləri müəyyən et" tapşırığı verildə sistem relyef meyilliyi, geoloji quruluş, torpaq örtüyü, yağıntı və yaşayış məntəqələri kimi məlumatları analiz prosesinə daxil edə bilər. Lakin bu mərhələdə insan mütəxəssis seçilmiş məlumatların və metodların uyğunluğunu yoxlamalıdır.

Üçüncü mərhələdə sistem məlumat mənbələrini özü seçə və ilkin qiymətləndirmə apara bilər. Bu, daha mürəkkəb avtomatlaşdırma səviyyəsidir. Sistem açıq məlumat portallarından, peyk təsvirlərindən, sensor şəbəkələrindən və əvvəlki layihə məlumatlarından istifadə edərək analiz bazası formalaşdırıla bilər. Bu mərhələdə əsas risk məlumatların aktual, dəqiq və məqsədəuyğun olub-olmaması ilə bağlıdır.

Dördüncü mərhələdə sistem nəticələri qiymətləndirir və öz iş axınıni təkmilləşdirir. Əgər model nəticələri real müşahidələrlə uyğun gəlmirsə, sistem fərqli parametr və metodları sınaqdan keçirə bilər. Bu yanaşma ağıllı CİS-in adaptiv xarakterini göstərir. Lakin belə sistemlərdə belə insan nəzarəti tam aradan qalxmır. Çünki coğrafi qərarlar çox vaxt sosial, iqtisadi, hüquqi və etik nəticələr doğurur.

Beşinci mərhələ tam avtonom və bilik əsaslı CİS kimi təsəvvür olunur. Bu mərhələdə sistem əvvəlki tapşırıqlardan öyrənir, uğurlu və uğursuz nəticələri müqayisə edir, öz strategiyalarını yeniləyir və mürəkkəb məkan problemlərini minimum insan müdaxiləsi ilə həll edir. Hazırda bu səviyyə daha çox nəzəri perspektiv kimi qiymətləndirilir. Çünki mövcud süni intellekt modelləri hələ də səhvlər edə, konteksti yanlış anlaya və inandırıcı, lakin texniki baxımdan düzgün olmayan nəticələr təqdim edə bilər.

#### **Şəhərsalma və regional idarəetmədə tətbiq imkanları**

Ağıllı CİS sistemlərinin ən mühüm tətbiq sahələrindən biri şəhərsalma və regional idarəetmədir. Müasir şəhərlər əhali artımı, nəqliyyat sıxlığı, mənzil ehtiyacı, ekoloji təzyiqlər və infrastruktur yüklənməsi kimi mürəkkəb problemlərlə üzləşir. Bu problemlərin həlli üçün yalnız statistik məlumatlar kifayət etmir; şəhər məkanının strukturunu, obyektlərin yerləşməsinə və müxtəlif xidmətlərə çıxış imkanlarını təhlil etmək lazımdır.

Ağıllı CİS şəhər ərazilərinin planlaşdırılmasında müxtəlif məlumat qatlarını birləşdirə bilər. Əhali sıxlığı, ictimai nəqliyyat xətləri, sosial obyektlər, yaşıllıq sahələri, tikinti zonaları, torpaq



qiymətləri və ekoloji risklər birlikdə təhlil edilərək daha balanslı şəhərsalma qərarları qəbul oluna bilər. Məsələn, yeni məktəb və ya xəstəxana tikintisi üçün uyğun ərazinin seçilməsi zamanı əhalinin yaş strukturu, mövcud xidmət obyektlərinin yüklənməsi, nəqliyyat əlçatanlığı və gələcək inkişaf ssenariləri nəzərə alınmalıdır.

Regional idarəetmədə ağıllı CİS iqtisadi inkişaf fərqlərinin, infrastruktur çatışmazlıqlarının və xidmət əlçatanlığının qiymətləndirilməsinə kömək edə bilər. Regionlar üzrə yol şəbəkəsinin keyfiyyəti, kənd təsərrüfatı potensialı, su ehtiyatları, sənaye zonaları və əmək bazarı göstəriciləri məkan əsaslı təhlil edildikdə inkişaf siyasətləri daha dəqiq formalaşdırıla bilər. Bu baxımdan CİS yalnız texniki xəritə vasitəsi deyil, strateji planlaşdırma aləti kimi çıxış edir.

#### **Ekoloji monitoring və təbii resursların idarə olunması**

Süni intellektlə integrasiya olunmuş CİS ekoloji monitoring və təbii resursların idarə olunması sahəsində də böyük imkanlar yaradır. İqlim dəyişmələri, torpaq degradasiyası, meşə örtüyünün azalması, su ehtiyatlarının çirkənlənməsi və biomüxtəlifliyin zəifləməsi kimi problemlər geniş məkan və zaman miqyasında izlənilməlidir. Ənənəvi müşahidə üsulları bu prosesləri tam və operativ əhatə etməkdə çətinlik çəkir.

Peyk təsvirləri və uzaqdan zondlama məlumatları süni intellekt modelləri ilə birlikdə istifadə edildikdə ekoloji dəyişikliklərin avtomatik aşkarlanması mümkün olur. Məsələn, meşə yanğınlarının yayılma istiqaməti, su hövzələrinin səviyyə dəyişməsi, torpaq istifadəsi transformasiyası və bitki örtüyünün sağlamlıq vəziyyəti məkan analitikası vasitəsilə qiymətləndirilə bilər. Bu isə ekoloji siyasətin daha operativ və faktlara əsaslanan şəkildə qurulmasına şərait yaradır.

Təbii resursların idarə olunmasında da ağıllı CİS mühüm rol oynayır. Suvarma sistemlərinin planlaşdırılması, torpaq münbitliyinin qiymətləndirilməsi, mineral ehtiyatların xəritələndirilməsi və qorunan ərazilərin monitoringi CİS vasitəsilə daha səmərəli həyata keçirilə bilər. Süni intellekt bu proseslərdə dəyişiklikləri əvvəlcədən müəyyən etməyə, riskli sahələri ayırmağa və resursların optimal istifadəsi üçün tövsiyələr verməyə imkan yaradır.

#### **Nəqliyyat və fəvqəladə halların idarə edilməsində ağıllı CİS**

Nəqliyyat sistemləri şəhər və regionların gündəlik fəaliyyətində əsas rol oynayır. Yol şəbəkəsinin yüklənməsi, ictimai nəqliyyatın əlçatanlığı, qəza riskləri və logistika marşrutları məkanla sıx bağlıdır. Ağıllı CİS bu məlumatları real vaxt rejimində təhlil etməklə nəqliyyat idarəçiliyini daha effektiv edə bilər. Sensor məlumatları, GPS siqnalları, yol kameraları və ictimai nəqliyyat cədvəlləri birlikdə analiz edildikdə tıxacların qarşısının alınması və optimal marşrutların müəyyən edilməsi mümkündür.

Fəvqəladə halların idarə olunmasında CİS-in əhəmiyyəti daha da artır. Zəlzələ, daşqın, meşə yanğını, torpaq sürüşməsi və sənaye qəzaları zamanı hadisələrin məkan üzrə yayılması, risk altında olan əhali qrupları, evakuasiya yolları və yardım məntəqələrinin yerləşməsi operativ şəkildə təhlil edilməlidir. Ağıllı CİS bu proseslərdə risk zonalarını müəyyən edərək, təhlükəsiz marşrutları hesablaya və qərar qəbul edən qurumlara real vaxtda analitik informasiya təqdim edə bilər.

Süni intellekt bu sahədə proqnozlaşdırma imkanlarını genişləndirir. Məsələn, güclü yağıntı ehtimalı, relyef xüsusiyyətləri və hidroloji məlumatlar əsasında daşqın riski yüksək olan ərazilər əvvəlcədən müəyyənləşdirilə bilər. Eyni şəkildə külək istiqaməti, temperatur və bitki örtüyü məlumatları əsasında meşə yanğınlarının yayılma ehtimalı qiymətləndirilə bilər. Bu isə fəvqəladə hallara reaktiv deyil, preventiv yanaşmanın formalaşmasına imkan verir.

#### **Ağıllı CİS-in üstünlükləri**

Ağıllı CİS-in əsas üstünlüklərindən biri analiz proseslərinin sürətləndirilməsidir. Ənənəvi CİS-də məlumatların hazırlanması, uyğun alətlərin seçilməsi, analizlərin aparılması və xəritələrin hazırlanması çox vaxt aparır. Süni intellekt bu mərhələlərin bir hissəsini avtomatlaşdıraraq analitik işlərin daha qısa müddətdə yerinə yetirilməsinə kömək edir.

İkinci üstünlük əlçatanlıqla bağlıdır. Peşəkar CİS biliklərinə malik olmayan istifadəçilər təbii dildə sorğu verərək məkan analizlərindən yararlanırlar. Bu xüsusiyyət xüsusilə dövlət



idarəçiliyi, bələdiyyələr, təhsil, səhiyyə və qeyri-hökumət təşkilatları üçün əhəmiyyətlidir. Çünki bu sahələrdə məkan məlumatlarına ehtiyac böyük olsa da, hər zaman peşəkar CİS mütəxəssisi mövcud olmur.

Üçüncü üstünlük kompleks məlumatların integrasiyasıdır. Ağıllı CİS peyk təsvirləri, statistik göstəricilər, sensor məlumatları, sosial-iqtisadi göstəricilər və açıq məlumat bazalarını birləşdirərək daha əhatəli analizlər aparmağa imkan verir. Bu isə mürəkkəb problemlərin birölcülü deyil, çoxölçülü şəkildə qiymətləndirilməsinə şərait yaradır.

Dördüncü üstünlük qərar dəstəyi funksiyasıdır. Ağıllı CİS yalnız nəticələri göstərmir, həm də onları izah edir, riskləri vurğulayır və alternativ ssenarilər təqdim edir. Bu xüsusiyyət idarəetmə qərarlarının daha əsaslandırılmış və şəffaf qəbul olunmasına töhfə verir.

### **Əsas problemlər və risklər**

Ağıllı CİS sistemlərinin inkişafında ən ciddi problemlərdən biri məlumat keyfiyyətidir. Məkan məlumatları müxtəlif mənbələrdən əldə edildiyi üçün onların dəqiqliyi, aktuallığı, formatı və əhatə dairəsi fərqli ola bilər. Yanlış və ya köhnəlmiş məlumatlar əsasında aparılan analizlər səhv qərarlara səbəb ola bilər. Süni intellekt modeli hər zaman bu səhvləri avtomatik müəyyən edə bilmir.

İkinci problem koordinat sistemləri və proyeksiyalarla bağlıdır. Məkan analizlərində məsafə, sahə və istiqamət hesablamalarının düzgün aparılması üçün uyğun koordinat sistemi seçilməlidir. Əgər sistem bu mərhələni düzgün icra etmirsə, nəticələr texniki baxımdan yanlış ola bilər.

Üçüncü problem alqoritmik şəffaflıqdır. Süni intellekt modelləri bəzən nəticəyə necə gəldiyini aydın izah etmir. Bu isə xüsusilə dövlət idarəçiliyi və ictimai qərarlar sahəsində ciddi problem yaradır. Çünki qərarın hansı məlumat və metod əsasında qəbul olunduğu izah edilməlidir.

Dördüncü problem alqoritmik qərəzlilikdir. Əgər modelin öyrədildiyi məlumatlarda sosial, iqtisadi və ya coğrafi qeyri-bərabərliklər varsa, sistemin nəticələri də bu qərəzləri təkrarlaya bilər. Məsələn, müəyyən ərazilər haqqında məlumat azdırsa, model həmin əraziləri daha aşağı dəqiqliklə qiymətləndirə bilər.

Beşinci problem insan nəzarətinin səviyyəsidir. Ağıllı CİS nə qədər inkişaf etsə də, onun nəticələri mütəxəssis tərəfindən yoxlanılmalıdır. Xüsusilə torpaq istifadəsi, evakuasiya, infrastruktur investisiyası və sosial xidmətlərin yerləşdirilməsi kimi qərarlarda texniki nəticələrlə yanaşı sosial və hüquqi nəticələr də nəzərə alınmalıdır.

### **Gələcək inkişaf perspektivləri**

Ağıllı CİS-in gələcək inkişafı bir neçə istiqamətdə gözlənilir. Birinci istiqamət ixtisaslaşmış geospatial süni intellekt agentlərinin yaradılmasıdır. Gələcəkdə məlumat toplama, xəritə hazırlama, risk modelləşdirmə, ssenari analizi və hesabatlaşdırma üzrə ayrıca agentlər birlikdə işləyə bilər. Bu yanaşma daha mürəkkəb məkan problemlərinin həllinə imkan verəcəkdir.

İkinci istiqamət təbii dil əsaslı CİS interfeyslərinin inkişafıdır. İstifadəçilər texniki menyular və mürəkkəb əməllər əvəzinə adi dildə tapşırıq verərək analizlər apara biləcəklər. Bu, CİS-in demokratikləşməsinə və daha geniş istifadəçi kütləsinə açılmasına səbəb olacaqdır.

Üçüncü istiqamət geospatial bilik bazalarının yaradılmasıdır. Süni intellekt modelləri ümumi dil bilikləri ilə yanaşı coğrafi anlayışları, koordinat sistemlərini, topoloji əlaqələri və məkan modelləşdirmə prinsiplərini daha dərinlən öyrənməlidir. Bunun üçün sahəyə uyğun xüsusi məlumat bazaları və test sistemləri hazırlanmalıdır.

Dördüncü istiqamət nəticələrin yoxlanılması və izah oluna bilən süni intellekt mexanizmlərinin gücləndirilməsidir. Ağıllı CİS yalnız nəticə təqdim etməməli, həm də həmin nəticənin hansı məlumat, metod və məntiq əsasında formalaşdığını izah etməlidir. Bu, sistemə etimadın artırılması üçün vacibdir.

Beşinci istiqamət etik və hüquqi tənzimləmənin inkişafıdır. Ağıllı CİS sistemləri real qərarlara təsir etdikcə məsuliyyət məsələsi daha da aktuallaşır. Yanlış xəritə, səhv risk qiymətləndirməsi və ya qeyri-dəqiq məkan analizi ciddi sosial və iqtisadi nəticələr doğura bilər.

Buna görə də bu sistemlərin tətbiqi üçün şəffaflıq, hesabatlılıq və insan nəzarəti prinsipləri müəyyən edilməlidir.

### Nəticə

Süni intellektlə integrasiya olunmuş ağıllı Coğrafi İnformasiya Sistemləri müasir geoinformasiya texnologiyalarının inkişafında yeni mərhələni ifadə edir. Bu sistemlər məkan məlumatlarının toplanması, emalı, təhlili, xəritələşdirilməsi və qərar qəbul etmə proseslərinə tətbiqini daha çevik və avtomatlaşdırılmış hala gətirir. Ənənəvi CİS daha çox istifadəçinin seçdiyi əməlləri icra edən texniki platforma olduğu halda, ağıllı CİS istifadəçi məqsədini anlamağa, uyğun məlumat və metodları seçməyə, nəticələri izah etməyə və müəyyən səviyyədə qərar dəstəyi göstərməyə çalışır.

Məqalədə aparılan təhlil göstərir ki, ağıllı CİS şəhərsalma, regional idarəetmə, ekoloji monitoring, nəqliyyat planlaşdırması, fəvqəladə halların idarə edilməsi, kənd təsərrüfatı və ictimai xidmətlərin təşkili kimi sahələrdə geniş tətbiq imkanlarına malikdir. Bu sistemlər məkan analizlərini sürətləndirir, CİS texnologiyalarını qeyri-mütəxəssislər üçün daha əlçatan edir və müxtəlif məlumat mənbələrinin integrasiyası əsasında daha əsaslandırılmış qərarların qəbuluna şərait yaradır.

Bununla yanaşı, ağıllı CİS-in inkişafı bir sıra ciddi problemlərlə müşayiət olunur. Məlumat keyfiyyəti, koordinat sistemlərinin düzgün seçilməsi, model nəticələrinin etibarlılığı, alqoritmik qərəzlilik, izah oluna bilmə, insan nəzarəti və hüquqi məsuliyyət bu problemlərin əsas istiqamətləridir. Buna görə də süni intellekt əsaslı CİS sistemləri tam müstəqil və səhsiz texnologiya kimi deyil, insan mütəxəssislə əməkdaşlıq edən ağıllı analitik platforma kimi qiymətləndirilməlidir.

Gələcəkdə bu sahənin inkişafı geospatial bilik bazalarının yaradılması, ixtisaslaşmış CİS agentlərinin hazırlanması, təbii dil əsaslı interfeyslərin təkmilləşdirilməsi, nəticələrin avtomatik yoxlanılması və etik-hüquqi çərçivələrin formalaşdırılması ilə bağlı olacaqdır. Ümumilikdə, süni intellektlə integrasiya olunmuş ağıllı CİS məkan məlumatlarının idarə olunması və coğrafi qərar qəbul etmə prosesində mühüm transformasiya yarada biləcək perspektivli texnologiya kimi qiymətləndirilməlidir.

### İstifadə edilmiş ədəbiyyatlar

1. Agarwal, M., Sun, M., Kamath, C., Muslim, A., Sarker, P., Paul, J., Yee, H., et al. (2024). General geospatial inference with a population dynamics foundation model. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.07207>
2. Akinboyewa, T., Li, Z., Ning, H., & Naser Lessani, M. (2024). GIS Copilot: Towards an autonomous GIS agent for spatial analysis. International Journal of Digital Earth, 18(1), 2497489. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2497489>
3. Anthropic. (2024, November 25). Introducing the Model Context Protocol. <https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol>
4. Atil, B., Chittams, A., Fu, L., Ture, F., Xu, L., & Baldwin, B. (2024). LLM stability: A detailed analysis with some surprises. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.04667>
5. Baek, J., Jauhar, S. K., Cucerzan, S., & Hwang, S. J. (2024). ResearchAgent: Iterative research idea generation over scientific literature with large language models. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.07738>
6. Bryson, T. (2024, November 14). From questions to discoveries: NASA's new Earth Copilot brings Microsoft AI capabilities to democratize access to complex data. The Official Microsoft Blog. <https://blogs.microsoft.com/blog/2024/11/14/from-questions-to-discoveries-nasas-new-earth-copilot-brings-microsoft-ai-capabilities-to-democratize-access-to-complex-data/>
7. Colorado General Assembly. (2024). Colorado AI Act: Consumer protections for artificial intelligence, SB24-205.

- [https://leg.colorado.gov/sites/default/files/images/colorado\\_ai\\_act\\_-\\_public\\_interest\\_groups\\_redline\\_2024.10.30.pdf](https://leg.colorado.gov/sites/default/files/images/colorado_ai_act_-_public_interest_groups_redline_2024.10.30.pdf)
8. Ferrara, E. (2023). Should ChatGPT be biased? Challenges and risks of bias in large language models. *First Monday*, 28(11). <https://doi.org/10.5210/fm.v28i11.13346>
  9. Feurer, M., Eggenberger, K., Falkner, S., Lindauer, M., & Hutter, F. (2022). Auto-Sklearn 2.0: Hands-free AutoML via meta-learning. *Journal of Machine Learning Research*, 23(261), 1-61. <http://jmlr.org/papers/v23/21-0992.html>
  10. Gahegan, M. (2020). Fourth paradigm GIScience? Prospects for automated discovery and explanation from data. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1652304>
  11. Gallegos, I. O., Rossi, R. A., Barrow, J., Tanjim, M. M., Kim, S., Derroncourt, F., Yu, T., Zhang, R., & Ahmed, N. K. (2024). Bias and fairness in large language models: A survey. *Computational Linguistics*, 50(3), 1097-1179. [https://doi.org/10.1162/coli\\_a\\_00524](https://doi.org/10.1162/coli_a_00524)
  12. Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31-45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
  13. Goodchild, M. F., & Li, W. (2021). Replication across space and time must be weak in the social and environmental sciences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(35), e2015759118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2015759118>
  14. Goodchild, M. F., Fotheringham, A. S., Kedron, P., & Li, W. (2021). Introduction: Forum on reproducibility and replicability in geography. *Annals of the American Association of Geographers*, 111(5), 1271-1274. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1806030>
  15. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

UDC 10167

# Developing recipes for functional tomato sauces enriched with natural vegetables

Kanatuly D.

Master's student, Almaty Technological University Almaty city, Republic of Kazakhstan

Syzdykova L.

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor., Almaty Technological University Almaty city, Republic of Kazakhstan

**Abstract.** This work presents the formulation of functional tomato sauces enriched with natural vegetables. The relevance of the study is based on the need to foster a culture of healthy eating among the population and to increase the biological value of food products. The article describes the effectiveness of introducing ingredients such as pumpkin, carrot, and bell pepper—rich in vitamins and minerals—into the composition of traditional tomato sauce. The study proposes an optimal recipe that allows for enhancing the product's functional properties while preserving its organoleptic characteristics. The chemical composition and functional properties of the vegetables used are presented in the article.

**Keywords:** functional nutrition, tomato sauces, natural raw materials, pumpkin, formulation, lycopene, beta-carotene, pectin, glucomannan.

## Introduction

One of the current development trends in the food industry is the production of functional foods. Functional products are considered not only a source of nutrients for the human body but also as suppliers of components that have a beneficial physiological effect[1,2]. The growing demand for proper nutrition principles requires increasing the biological value of food products[2]. In this regard, enhancing the functional properties of widely consumed tomato sauces by enriching them with natural vegetables is one of the pressing scientific and technological challenges. Functional foods are considered products that positively affect the body's physiological functions, help prevent diseases, and are suitable for regular use in the daily diet[4].

Tomato sauces are a type of product that is widespread among consumers and frequently used in the daily diet. Their widespread popularity, organoleptic appeal, and compatibility with various foods create a favorable foundation for developing tomato sauces with functional properties [5]. Tomato-based products are rich in biologically active substances, especially lycopene, organic acids, vitamins, and mineral elements[3]. The antioxidant properties of lycopene have been proven in numerous scientific studies to play an important role in the prevention of cardiovascular, oncological, and inflammatory diseases.

However, traditional tomato sauces are considered to have limited amounts of dietary fiber, certain vitamins, and bioactive compounds. Therefore, introducing natural vegetable components into the recipe to enhance the product's biological value is a scientifically justified solution.

**Experimental Section.** In order to increase the biological value of the product, part of the main raw materials was replaced with natural vegetable additives during the modification of the traditional tomato sauce recipe (control sample) (Table 1).

Table 1. Improved tomato sauce recipe

| №  | Control sample (traditional formulation) | Size of the parts to be assembled 100% | Substituted prescription | Size of the parts to be assembled 100% |           |           |
|----|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-----------|-----------|
|    |                                          |                                        |                          | №1 option                              | №2 option | №3 option |
| 1  | Tomato paste                             | 22                                     | Tomato paste             | 20                                     | 20        | 20        |
| 2  | E 1450                                   | 3                                      | Pumpkin                  | 10                                     | 15        | 10        |
| 3  | E 412                                    | 1                                      | Apple                    | 10                                     | 10        | 15        |
| 4  | Dill flavoring                           | 0,05                                   | Garlic                   | 0,3                                    | 0,3       | 0,3       |
| 5  | Muscat flavoring                         | 0,05                                   | Ginger                   | 0,3                                    | 0,3       | 0,4       |
| 6  | Sugar                                    | 2,5                                    | Sugar                    | 5,5                                    | 5,5       | 5,5       |
| 7  | Salt                                     | 2,5                                    | Salt                     | 2                                      | 2         | 2         |
| 8  | E 415                                    | 0,5                                    | Glukomanna n             | 0,2                                    | 0,2       | 0,2       |
| 9  | Acetic acid 10%                          | 6,5                                    | Acetic acid 10%          | 3                                      | 3         | 3         |
| 10 | Potassium sorbate                        | 0,08                                   | Potassium sorbate        | 0,7                                    | 0,7       | 0,7       |
| 11 | Water                                    | 61,82                                  | Water                    | 41                                     | 41        | 41        |

The benefits of the new substituted ingredients are based on the following:

Pumpkin puree- The starch in the traditional recipe was completely replaced with pumpkin puree. Since pumpkin is rich in pectins and carotenoids, it not only improves the product's texture but also helps regulate the digestive system and enriches the body with antioxidants. In addition, pumpkin is very rich in minerals and vitamins: including elements like potassium, phosphorus, magnesium, iron, and calcium, as well as B-group vitamins, and vitamins C, K, and E. This rich composition, combined with dietary fiber, makes pumpkin a valuable raw material with genuine healing properties for the human body. The high amount of beta-carotene in pumpkin is converted into retinol (vitamin A) in the body, which helps improve vision and protect cells from the harmful effects of free radicals[6].

Table 2. Chemical composition of apple and pumpkin purée (g per 100 g of product)

| Product name  | Protein , g | Carbohydrate , g | Dietary fiber, g |
|---------------|-------------|------------------|------------------|
| Apple sauce   | 0,4         | 15               | 2                |
| Pumpkin sauce | 1           | 7                | 2,5              |

Natural apple puree was used in place of the traditional structure-modifier, guar gum, in the product's recipe. Although guar gum (E412) serves to give the product a stable consistency and a soft texture, replacing it with a natural ingredient allows for enhanced functional properties and purity. Since apples are one of the richest fruits in pectins, they can fully replace the function of guar gum. Apple puree not only helps maintain the sauce's structure and extend its shelf life, but also gives the product a unique taste and aroma. In addition, the chemical composition of apples is very rich in the minerals potassium, magnesium, and iron, as well as vitamins A, PP, C, E, and the B group (Table 3). These components increase the biological value of the sauce, turning it into a high-quality functional product[6].

Table 3. Vitamin and mineral composition of apple and pumpkin puree (mg per 100 g of product) [7].

| Product name  | Vitamin A, mg | Beta-carotene, mg | Vitamin C, mg | Potassium, mg | Magnesium, mg | Phosphours, mg |
|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Apple sauce   | 3             | 0,02              | 4             | 140           | 9             | 11             |
| Pumpkin sauce | 480           | 4                 | 9             | 250           | 14            | 25             |

During the development of the scientifically based, improved recipe for functional tomato sauce, the compatibility of the raw materials and their organoleptic characteristics were taken into account [5].

### Conclusion

Overall, the development of functional tomato sauces enriched with natural vegetables is one of the promising directions in the food industry. The proposed formulation and technology make it possible to increase the nutritional and biological value of the product. Such products contribute to fostering a culture of healthy eating among the population and promoting health. Furthermore, the developed technology is suitable for implementation under industrial conditions and allows for the expansion of the assortment of functional food products.

### List of References

- 1.Drozдова, T.M., & Vorobyova, V.M. Functional Foods: Theory and Practice. Moscow: DeLi Plus, 2018. 312 pp.
- 2.Tutelyan V.A., Samsonov M.A. Fundamentals of Rational and Functional Nutrition. – Moscow: Medicine, 2016. – 368 pp.
- 3.Nikolaeva M.A., Anosova L.V. Technology of Processing Fruit and Vegetable Raw Materials. – St. Petersburg: GIOR, 2019. – 464 pp.
- 4.Kochetkova, A.A. Functional Foods: Current Status and Development Prospects // Food Industry. – 2020. – No. 5. – pp. 8–12.
- 5.Gavrilova N.B., Shcherbakova E.V. Technology of Sauces and Seasonings. – Moscow: KolosS, 2017. – 256 pp.
- 6.Skuriikhin I.M., Tutelian V.A. Chemical Composition of Russian Food Products. – Moscow: DeLi Print, 2018. – 236 pp.
- 7.Nechaev A.P. Food Chemistry. — St. Petersburg: GIOR

# Research and comparative analysis of innovative business process automation systems using AI

Assel Abdildayeva

0000-0002-6381-9350

Assem Baigara

0009-0000-4764-8793

Jelena Caiko

0000-0002-1207-1418

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## Annotation

*In the era of rapid development of digital technologies, automation of business processes comes to the fore, determining the success and competitiveness of companies. This article analyzes current trends in the field of business process automation (BPA), where artificial intelligence (AI) technologies are actively used. It is noted that in the era of digitalization, AI plays a crucial role in improving the productivity and stability of companies. Popular BPA platforms such as UiPath, Blue Prism, Automation Anywhere, WorkFusion, Microsoft Power Automate, and ELMA are compared in terms of scalability, compatibility with other systems, functionality, and price. The benefits of using machine learning, natural language processing, and robotic process automation (RPA) to optimize costs and reduce task execution time are considered. Special attention is paid to promising areas, including generative AI, big process models (LPM), and агентные agent-based business process management systems (Agentic BPM). The main difficulties in implementing intelligent BPA solutions are identified, such as integration problems, high cost, and ethical issues related to the use of AI. Based on the obtained data, practical tips are formulated for choosing and implementing intelligent BPA systems for organizations of different sizes and fields of activity.*

*Keywords: business process, automation, artificial intelligence, RPA, BPM, digital transformation.*

## Introduction

Over the past two decades, business process automation (BPA) has firmly established itself as a fundamental component of enterprise digital transformation. Initial implementations of BPA were limited to rule-based systems designed to perform standardized, repetitive tasks. However, advances in artificial intelligence (AI) have contributed to the evolution of these systems, extending their capabilities to unstructured data processing, forecasting, and intelligent decision support.

The synergy of AI, machine learning (ML), natural language processing (NLP), and robotic process automation (RPA) has paved the way for adaptive management systems with the potential for self-learning and optimizing business operations. This study aims to conduct a comparative analysis of modern BPA systems, identify their advantages and limitations, identify vectors for further development, and develop a methodology for evaluating the effectiveness of implementing AI technologies.

The purpose of this article is to analyze and compare modern AI-based BPA systems, assess their strengths and weaknesses, as well as the potential for future growth. The systems under



review include industry-leading platforms such as UiPath, Automation Anywhere, and Blue Prism, as well as AI-based solutions that leverage deep learning and data analytics.

The methodological basis of the study includes:

- System approach — for analyzing the structure and relationships of BPA elements using AI.
- Comparative-analytical method-for evaluating leading platforms (UiPath, Blue Prism, Automation Anywhere, WorkFusion, Microsoft Power Automate, ELMA) according to the criteria of scalability, integrability, functionality and cost.
- Content analysis of scientific publications - to identify trends and dynamics of scientific interest in BPA using AI;
- Economic and analytical methods-for evaluating the effectiveness of implementing automation systems based on ROI, KPI, SLA and error rate indicators.
- Expert approach — to substantiate conclusions and recommendations.

The scientific novelty of the work consists in clarifying the criteria for comparative evaluation of intelligent BPA platforms, generalizing the development directions of cognitive automation (Generative AI, Agentic BPM, LPM), and proposing complex metrics for evaluating their effectiveness.

The contribution consists in developing a systematic classification of BPA platforms based on the level of intellectualization and integration capabilities, as well as in complementing existing methods with evaluation parameters that reflect the use of AI in decision-making processes.

In the era of digitalization, business process automation (BPA) determines the success and competitiveness of companies. Previously, BPA systems were limited by strict rules for standardized tasks, but the development of AI has allowed them to move to unstructured data processing and intelligent decision-making. The synergy of AI, machine learning (ML) and robotic automation (RPA) creates adaptive systems capable of self-learning.

### **The main part**

#### **1. Evolution of Business Process Automation**

2. Traditional BPA systems have been designed to address specific, repetitive tasks in an organization, such as invoice processing, data entry, or customer service workflows. Early automation solutions were largely rule-based, which meant that they required precise instructions to work. This rigidity limited their ability to adapt to the dynamic changes of the real world. The inclusion of AI in BPA has changed this paradigm, allowing systems to learn from data, adapt to new situations, and offer predictive capabilities. BPA systems with improved AI can now automate more complex tasks such as fraud detection, sentiment analysis, and supply chain optimization by offering real-time information [1].

#### **3. AI in BPA Systems: Key Technologies**

4. AI brings many cutting-edge technologies to the field of business process automation

- *Machine Learning (ML)*: ML algorithms
- *Natural Language Processing (NLP)*: NLP allows you to automate tasks related to unstructured data, such as customer queries or document processing. For example, using AI-based chatbots, companies can provide more personalized customer support with minimal human intervention [2].
- *Robotic Process Automation (RPA)*: AI integrated with RPA allows bots to handle more subtle and cognitive tasks, rather than simple rule-based processes. This is particularly useful in industries such as healthcare, where processes such as patient data management can be both repetitive and complex [3].

5. **Comparative evaluation of leading AI-based BPA systems**
6. Modern BPA platforms are characterized by the integration of artificial intelligence technologies, which provides intelligent information processing, data analysis and automation of the decision-making process. The main characteristics of leading solutions are detailed in Table 1.

**Table 1-Comparative evaluation of AI-based BPA systems**

| System                   | AI Capabilities     | Scalability | Easy integration                    | Cost               | Most suitable Application          |
|--------------------------|---------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| Area                     | UiPath ML, NLP, RPA | High        | Excellent API                       | Performance Medium | Large Enterprises and SMEs         |
| Automation Anywhere      | ML, Predictive AI   | High        | Cloud Support                       | High               | Global Organizations               |
| Blue Prism               | Cognitive RPA       | Medium      | Complex Integration                 | Medium             | Banking, Manufacturing             |
| WorkFusion               | Intelligent OCR, ML | High        | AI Integration                      | High               | Finance, compliance                |
| Microsoft Power Automate | Basic AI            | Medium      | High compatibility with MS services | Low                | Small Business                     |
| ELMA                     | Computer Vision, ML | Medium      | Easy installation, low threshold    | Low                | Government and local organizations |

- *UiPath*: Known for its powerful RPA capabilities, UiPath has incorporated machine learning and NLP to handle both structured and unstructured data. Its user-friendly interface and extensive integration capabilities make it one of the most popular options for companies of various sizes.

- *Automation Anywhere*: Offering one of the most comprehensive AI-based automation platforms, Automation Anywhere focuses on cloud-based solutions. Its predictive analytics capabilities and augmented AI RPA provide businesses with actionable insights.

- *Blue Prism*: Blue Prism is often chosen by large enterprises for complex workflows, and uses AI-based bots to automate cognitive tasks. However, the integration complexity is higher compared to the competition, which makes it less suitable for small businesses.

- *WorkFusion*: Specializing in industries where strict compliance requirements apply, WorkFusion offers intelligent AI-based automation. Its powerful OCR (Optical Character recognition) and analytics capabilities make it ideal for the financial and medical sectors [4].

- *Microsoft Power Automate*: Despite the limited capabilities of artificial intelligence, Power Automate integrates well with other Microsoft products and offers a low-cost solution for small businesses looking to automate basic workflows.

Current trends in Intelligent business process automation (BPA) under the influence of AI:

Since 2020, there has been an exponential growth in publications and developments on intelligent business process automation (BPA). This indicates the high dynamics of the development of this area. The main directions of progress are as follows:

**Generative AI and Large Process Models (LPM)**: This area focuses on combining the capabilities of generative language models with an understanding of the structure of business processes. The goal is to automate the creation, analysis, and optimization of these processes.

Agent-based approach to BPM: Autonomous software agents are introduced that are able to independently make decisions and coordinate actions between different divisions of the company, increasing the efficiency of interaction.

Conversational (conversational) processes: Natural language processing (NLP) and large language models (LLM) are used to create conversational interfaces. This allows users to interact with business processes in a more natural, conversational way.

Integrating BPA with IoT, Blockchain, and Edge AI: Combining BPA with technologies such as the Internet of Things (IoT), blockchain, and Edge Artificial Intelligence (Edge AI) aims to increase transparency, data processing speed, and system adaptability, especially in areas such as manufacturing and financial operations.

## **7. Literature review, comparative assessment of modern business process automation systems using AI:**

In the modern economy, digital transformation is one of the key drivers of growth [5] [6]. Companies are increasingly resorting to robotic process automation (RPA) to increase productivity and reduce costs RPA is a form of business process automation that provides a universal tool for creating software robots that can automate routine clerical tasks. The essence of RPA technology is to simulate human actions when working with various systems, applications, or information sources. This makes it suitable for automating regular and monotonous tasks without radical changes in current processes or costly improvements to existing systems [7].

RPA robots are capable of performing a large amount of tasks at high speed. A process is considered suitable for RPA if it is based on certain rules, repeats at regular intervals, or has a predefined trigger, has certain input and output data, and the task is quite large. Multi-criteria diagnostics can be used to assess whether a process meets its RPA purpose, taking into account the scope of the task, error propensity, predictability, exception handling, manual labor, system update time, and the importance of constraints.

### *Integration of Artificial Intelligence and RPA*

There is a definite link between RPA and artificial Intelligence (AI) [7]. AI technologies such as natural language processing (NLP) and machine learning that mimic human judgment and behavior complement RPA technologies that copy human actions based on rules. Combining AI with RPA allows companies to automate more complex, complex processes. For example, RPA can be used on decision-making nodes where this was previously impossible [8]. AI allows robots to "view" documents and images using an algorithm and interpret them for subsequent routing.

An important example of the use of AI in automating document processing is IDP (Intelligent Document Processing) [9]. Unlike conventional optical character recognition (OCR), IDP can detect the document type and find fields that change their location. IDP includes a learning process where the analyst refines the concept of the document. The combination of OCR and IDP with recognition accuracy assessment is especially convenient, since AI technologies help to minimize errors even in complex documents, although 100% correct recognition is not guaranteed.

### *Digital assistants (chatbots) as a kind of RPA*

One of the varieties of RPA robots is "chatbots" or digital assistants. These are programs that can communicate with the user via text messages or voice, simulating a dialog [8]. They can be integrated into company systems, websites, applications, or instant messengers [10]. Digital assistants are useful for managing administrative tasks and organizing activities, such as scheduling meetings, managing to-do lists, optimizing email, and reporting daily progress on tasks. They are also used to support project management and collect human resource data. Digital assistants are often used by large companies with a large volume of daily communications and companies whose clients need online consultation. The feasibility of their application requires careful research of the business area.

To ensure a positive chatbot experience, the digital assistant must be able to recognize the user's text or speech, which is achieved using NLP (Natural Language Processing). NLP is a field of computer science that allows a computer to understand, analyze, manipulate, and potentially generate human language. NLP is applied to understand human language to words used by humans. Understanding natural language involves taking into account semantics (meaning of words), syntax (sentence structure), and context (external aspects that affect meaning). The NLP engine works by recognizing the user's intent and matching it with stored semantic representations to provide the appropriate response. This engine can recognize many variations of natural language, including complete sentences, keyword input, and spelling or linguistic errors. Each response is assigned a confidence score [11].

#### *Methods for evaluating the effectiveness of business processes*

Various methods of efficiency assessment are used to analyze and optimize business processes, especially when implementing automation [12]. Some studies offer rapid assessment methods that include analysis of aspects such as complexity, processability, controllability, resource intensity, and adjustability. Other papers consider EVA-based management methods, Tableau of bord, and Balanced Scorecard. Various groups of indicators are identified, including performance, cost, time, quality, and business process fragmentation. Complex classifications of indicators are proposed.

The methodology for assessing the economic efficiency of business processes can focus on identifying processes that need reengineering, evaluating efficiency by cost, time, and quality [12]. This approach allows you to identify problem areas and identify areas of optimization.

The hierarchy analysis method can also be used to evaluate the effectiveness of business processes, assuming that quantitative values are assigned to characteristics based on expert assessments and multi-criteria analysis is performed.

#### *Overview and comparative analysis of RPA systems*

The market for robotics platforms is actively developing, and there are recognized leaders in this field.

\* UiPath is considered the simplest and most modern software with an emphasis on an intuitive interface and functionality. It is popular among RPA developers due to its modern interface, extensive library of actions, high level of security, universal search function and built-in recorder. The UiPath solution UiPath consists of a development studio, an unattended robot for large-scale scheduled operations, and an orchestrator for centralized robot management.

\* Blue Prism is a British corporation that was the first to develop software for corporate RPA. It has a high level of scalability, with the ability to use thousands of robots. It has an all-inclusive concept, offering a single license ("Digital Employee") that allows you to work with robots around the clock. The studio and orchestrator are scaled automatically.

\* Automation Anywhere is positioned as a global leader in RPA. It offers a networked and cloud-based intelligent automation platform combining RPA, AI, machine learning and analytics. It allows users to automate their own processes using software robots that perform repetitive tasks. It has offices in more than 40 countries and more than 1.7 million robots. It is noted that to work with this software, you need to be a programmer or have significant skills in this area. Automation Anywhere offers an extensive marketplace of ready-made solutions.

\* ELMA is a Russian development that has a low entry threshold. Allows you to simulate processes without any special experience or education. ELMA robots can use computer vision technology to navigate through any interface. The software allows you to work in any environment without additional plugins and simply create universal solutions. There are ready-made actions for working with documents. You can build bot farms based on ELMA RPA to perform routine work in an organization with orchestration, scheduling, and integration with BPMS. Any solution can be

easily modified and scaled, as well as "rolled back" to the previous version. An important advantage is a perpetual license that does not require regular payments.

A comparative analysis of these platforms by quality criteria (prevalence, completeness of functionality, compatibility, scalability, compliance with trends) and cost showed that UiPath and Oracle Digital Assistant received high ratings. However, the choice of software depends on your specific goals. The analysis also points to the growth potential of the large business platform market. Russian ELMA software is able to compete with foreign systems.

*Example of business process optimization using the digital Assistant*

One of the sources gives an example of optimizing interaction with suppliers in a large retail company using a chatbot. Initially, the processing of vendor requests, such as receipt of a reconciliation report, payment issues, or invoice status, was performed manually by accounting staff. Between 1,500 and 3,000 requests were processed per month. Manual processing, including registering the request, executing and sending the response, took a large amount of time, with an average of 1 day per response.

The introduction of the digital assistant allowed us to automate this process. The chatbot can interact directly with the ERP system database to quickly get the necessary information. When using a chatbot, the response to the provider is received in fractions of seconds. The employee is not involved in this process, which allows rational use of human and monetary resources.

Optimization goals included reducing processing time, reducing human and material resources, reducing the likelihood of human errors, and reducing the time lag of information. Optimization indicators showed significant improvements: response time was reduced from 1 day to 2 minutes; the number of employees involved in this type of request was reduced from 4 to 1 (for processing complex requests). The response cost decreased from 114.30 rubles to 49.67 rubles. Savings on interaction with counterparties for the year amounted to more than 1.8 million rubles. This example shows that the use of digital assistants for robotizing monotonous work is effective for economic agents with a high burden on communication with external counterparties.

*Using neural networks to evaluate business processes*

In addition to RPA and chatbots, AI, in particular neural networks, are also used to analyze and optimize business processes. A multi-layer perceptron, a form of neural network, can be used to identify complex dependencies in business process data. Its main application goals include forecasting and modeling, classification and segmentation, optimization, risk analysis, and anomaly detection.

Applying a multi-layer perceptron requires the collection and processing of large amounts of data, as well as knowledge in the field of AI. A formalized business process model can be a function that converts inputs (resources) into outputs (performance indicators) using mechanisms (performance criteria) and management (analysis methods). Input parameters for the assessment can include volume, quality, time, and financial indicators. Performance criteria can include cost-effectiveness, productivity, quality, and flexibility. These indicators can be calculated using econometric analysis, operational analysis, financial and qualitative analysis.

The neural network approach allows you to not only quantify efficiency, but also analyze qualitative aspects, contributing to a deep understanding of current operational efficiency and determining development directions. The methodology, based on generalized indicators and an integrative approach, combines quantitative and qualitative metrics. The implementation of operational analysis and econometric modeling allows you to determine the correlation between input variables and performance indicators. The scientific novelty of such methodologies lies in their versatility and ability to adapt to a variety of business processes, as well as in an integrated approach to evaluation that ensures objectivity and repeatability of results. The practical value is to provide a basis for recommendations for improving efficiency, including optimizing resources and improving the quality of management.

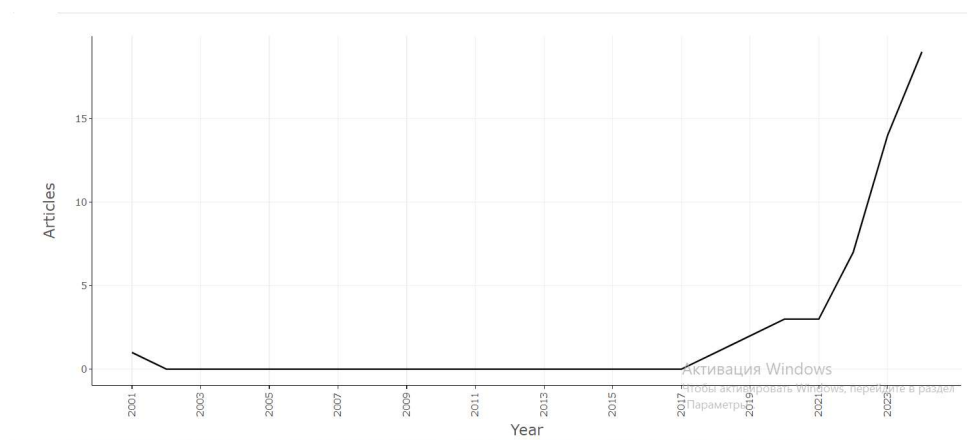
## 8. Challenges and Considerations

9. Further development of BPA is related to Generative AI and Agent-based Systems (Agentic BPM), where autonomous agents coordinate actions between departments. It is also becoming important to use neural networks (for example, a multilayer perceptron) for deep analysis of risks and anomalies. However, barriers remain: the high cost of implementation for SMEs, the difficulties of integrating with outdated IT infrastructure, and ethical issues related to transparency in decision-making and job cuts.

While AI has revolutionized AI, a number of challenges remain:

- **Cost:** Implementing AI-based BPA systems can be expensive, especially for small and medium-sized enterprises (SMEs). High initial costs and ongoing maintenance costs can limit implementation among small organizations.
- **Integration complexity:** Not all BPA systems are easily integrated with the existing IT infrastructure, which can lead to costly delays and disruptions in the implementation process.
- **Ethical and defensive concerns:** As AI becomes increasingly involved in business processes, ethical considerations around job relocation and decision transparency are becoming increasingly important. In addition, the processing of confidential business and customer data in automated systems creates security risks that need to be carefully managed.

On the topic "Analysis and comparative evaluation of modern business process automation systems using AI", several similar articles were considered and the following graphs were made. 1-figure shows the number of scientific publications on the topic of business process automation by year (2004-2023). The graph clearly shows a sharp increase in scientific interest in this area in recent years, especially since 2020.



1-drawing. Annual Scientific Output

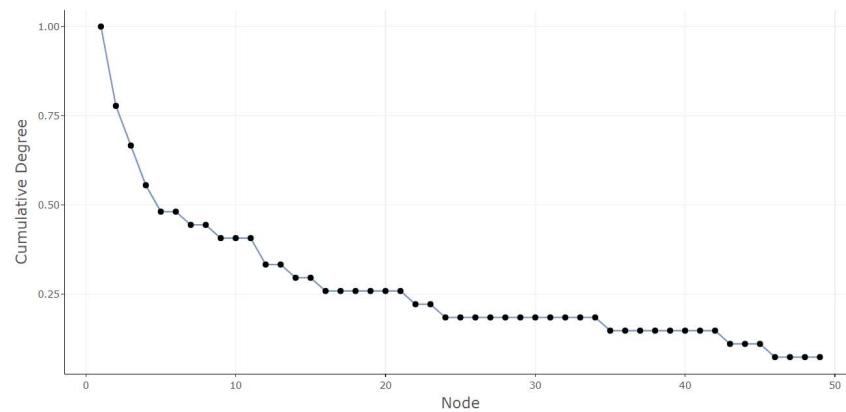
Since 2020, there has been an exponential increase in publication activity. This is the same as:

- Widespread use of RPA (Robotic Process Automation) technologies,
- The growing popularity of intelligent process management systems (iBPMS),
- Using machine learning and NLP to optimize business processes,
- Accelerated digital transformation during the pandemic.

AI in business process automation is moving from the experimental stage to the phase of active implementation and study.

In Figure 2r, rafiq displays the cumulative degree of nodes in the network of related cases, which reflects the structure of links between key topics or publications in this area.





2-drawing. Network of related cases

The network shows a "long tail" structure, which is a characteristic feature of weakly connected distributed systems, where only a limited number of topics or authors act as key elements (nodes with a high level of communication). This indicates the following:

1. Forming the core of knowledge around which most new research is focused.
2. Knowledge of leading technologies, concepts or tools in the field of BPA using AI, such as BPMN, RPA, process analysis and machine learning models.
3. The likely prevalence of certain platforms or approaches, such as UiPath, IBM Watson, Camunda, and Celonis.

### Conclusion

AI-based business process automation has significantly expanded organizations' ability to optimize and scale their operations. By integrating machine learning, natural language processing, and RPA, these systems can now handle more complex tasks, offer real-time analytics, and improve decision-making. However, choosing the right BPA system depends on several factors, including scalability, ease of integration, and cost. While systems like UiPath and Automation Anywhere offer comprehensive features suitable for large enterprises, small businesses may prefer solutions like Microsoft Power Automate because of their ease of use and lower costs. While there are obvious benefits, broad adoption requires addressing issues such as implementation costs and ethical considerations. Ultimately, AI-based BPA holds great promise for the future of business operations. Thus, modern business process automation systems actively integrate AI technologies. RPA simulates human actions to automate routine tasks, while AI, in particular NLP and machine learning, expands the capabilities of RPA, allowing you to automate more complex and unpredictable processes, process unstructured data, and perform deeper analysis. Digital assistants, being a type of RPA with NLP support, demonstrate high efficiency in communication automation. For successful automation and optimization, preliminary assessment of business processes using a variety of methods and indicators is critical. There are a number of leading RPA platforms (UiPath, Blue Prism, Automation Anywhere, ELMA, etc.), each with its own features, and the choice of a specific solution depends on the goals set and the required functionality. Despite the high degree of automation, sources note that it is still impossible to completely replace a person, especially for processing complex queries that require flexibility and judgment. The use of neural networks opens up new perspectives for deep analysis and evaluation of the effectiveness of business processes, allowing you to identify complex patterns and optimize data-based management.

Modern BPA platforms have evolved into intelligent control systems. The choice of a specific solution depends on the goals: UiPath and Automation Anywhere are the leaders in functionality for large structures, while ELMA and Microsoft Power Automate are the optimal



alternatives in terms of cost and ease of implementation. However, a complete replacement of a human is not yet possible in processes that require flexibility and complex judgment.

Integration of artificial intelligence into business process automation systems opens up new horizons for digital management. Next-generation BPA platforms provide intelligent decision-making, analytical adaptability, and cost reduction.

The analysis showed that UiPath and Automation Anywhere solutions are leading in terms of functionality and integration capabilities, while ELMA and Microsoft Power Automate represent affordable alternatives for SMEs and government agencies.

The main directions of further development are:

- integration of Generative AI and LPM;
- creation of agent-based BPM systems;
- creating transparent and ethically sustainable AI models.

The practical significance of the study lies in the fact that the proposed evaluation criteria and comparison table can be used by organizations when choosing the optimal BPA platform for digital transformation.

### List of used literature

1. José Brás, Ruben Pereira, Sérgio Moro Intelligent Process Automation and Business Continuity: Areas for Future Research, 2023
2. Vincenzo Varriale, Antonello Cammarano, Francesca Michelino, Mauro Caputo Critical analysis of the impact of artificial intelligence integration with cutting-edge technologies for production systems, 2023
3. Nikolaos-Alexandros Perifanis, Fotis Kitsios Investigating the Influence of Artificial Intelligence on Business Value in the Digital Era of Strategy: A Literature Review, 2023
4. Ida Merete Enholm, Emmanouil Papagiannidis, Patrick Mikalef, John Krogstie Artificial Intelligence and Business Value: a Literature Review, 2021
5. Nikolaeva G.L., Tukhbatov R.R. Digital Assistants as a Tool to Optimize the Interaction of Economic Agents. Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(1):246-257. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202001.246-257> Том 16, № 1. 2020 ISSN 2411-1473 sitito.cs.msu.ru
6. Kreutzer R.T., Neugebauer T., Pattloch A. Digital Business Leadership. Management for Professionals. Springer, Berlin, Heidelberg; 2018. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56548-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56548-3_1)
7. Baranov I. HN. Obzor i sravnitel'nyj analiz BPMN-sistem dlya robotizatsii biznes-protsessov Sovremennye innovatsii, sistemy i tekhnologii [Review and comparative analysis of BPMN systems for robotization of business-processes Современные инновации, ]. Modern Innovations, Systems and Technologies 2022; 2(3) eISSN: 2782-2818 UDC: 658.5.011, 65.011.56 EDN: WHVCSU DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0139-0149>
8. Kyoo-Man H. Digital Business Leadership: Digital Transformation, Business Model Innovation, Agile Organization, Change Management // R&D Management. – 2020. – Vol. 50, issue 2. – Pp. 171-172. – DOI: <https://doi.org/10.1111/radm.12368>
9. Fedor Kanakov et al. / Procedia Computer Science 213 (2022) 296–300 299 Kanakov F., Prokhorov I. / Procedia Computer Science 00 (2022) 000–000 3
10. ECONOMIC INFORMATICS G. L. Nikolaeva, R. R. Tukhbatov Vol. 16, No. 1. 2020 ISSN 2411-1473 sitito.cs.msu.ru Modern Information Technologies
11. G. L. Nikolaeva, R. R. Tukhbatov Digital assistants as a tool for optimizing the interaction of economic agents ECONOMIC INFORMATICS UDC 004 DOI: 10.25559/SITITO.16.202001.246-257

12. Kourani H., Berti A., Schuster D., van der Aalst W. M. P. Process Modeling with Large Language Models. arXiv:2403.07541 (2024)

УДК 664.864

# Совершенствование технологии салатных консервов с использованием бобовых культур

**Сыздыкова Лайла Сайлауовна**

к.т.н., доцент, ассоциированный профессор, Кафедра «Технология пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, город Алматы, Республика Казахстан

**Шамбулова Гульнар Досанбековна**

к.т.н., и.о.ассоциированный профессор, Кафедра «Технология пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, город Алматы, Республика Казахстан

**Абдиева Карлыгаш Мамытбековна**

к.б.н., и.о.ассоциированный профессор, Кафедра «Технология пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, город Алматы, Республика Казахстан

**Кенгесова Әлия Жумабайқызы**

магистр ассистент, Кафедра «Технология пищевых продуктов», Алматинский технологический университет, город Алматы, Республика Казахстан

Большинство овощей обладают лечебно-оздоровительными свойствами, являются сырьём, богатым витаминами и минеральными веществами, поэтому консервы, полученные из них, особенно овощные салаты, занимают важное место в рационе питания человека.

Овощные салаты — это одни из самых полезных продуктов для здоровья человека, богатые витаминами, минералами, антиоксидантами и полезными пищевыми волокнами. Пищевые волокна, содержащиеся в овощах, улучшают работу кишечника и регулируют процесс пищеварения. Это помогает предотвратить запоры. Антиоксиданты, содержащиеся в салатах, укрепляют защитные функции организма и защищают его от вредных свободных радикалов. Фитонутриенты и калий, входящие в состав овощей, способствуют нормализации артериального давления и предотвращают сердечно-сосудистые заболевания. Благодаря низкой калорийности и высокой питательной ценности овощи являются отличным продуктом для людей, стремящихся снизить вес. Антиоксиданты и витамины в овощах помогают коже оставаться молодой и эластичной. Фитохимические вещества, содержащиеся в овощах, могут замедлять развитие некоторых видов онкологических заболеваний. Включение овощных салатов в ежедневный рацион — это простой и эффективный способ улучшения здоровья. Использование разнообразных овощей позволяет обеспечить организм необходимыми питательными веществами.

Для приготовления салата были использованы огурцы, красный болгарский перец, морковь — овощи, очень полезные для организма человека, обладающие высокими органолептическими показателями и биологической ценностью, а также зелёный горошек, богатый растительным белком. Рассмотрим химический состав и свойства этих овощей:

Учёные Оксфордского университета в Великобритании доказали, что морковь является овощем, способствующим профилактике сахарного диабета 2-го типа и онкологических заболеваний. Морковь также полезна для людей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, повышенным артериальным давлением и сахарным диабетом, а также способствует восстановлению клеток поджелудочной железы. Благодаря

высокому содержанию железа морковь превосходит многие другие овощи, поэтому её используют при лечении анемии.

Учёные США после длительных исследований пришли к выводу, что огурец способен противостоять вредному воздействию табака на организм курящего человека и может способствовать профилактике хронических заболеваний лёгких.

В составе огурца содержится 95–96% воды и 4–5% сухих веществ. В сухом веществе содержится 2–25% сахаров, 1% белка, 0,1% жира, 0,7% клетчатки, витамины группы С и В, каротин, органические кислоты и эфирные масла (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав сырья, г/100 г

| Сырьё                    | Вода,<br>% | Жир% | Бело<br>к, % | Углеводы, г/100г |              |                 |                   |
|--------------------------|------------|------|--------------|------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                          |            |      |              | моносахариды     |              | дисаха-<br>риды | полисаха-<br>риды |
|                          |            |      |              | глюкоза          | фрук<br>тоза | сахароза        | крахмал           |
| Морковь                  | 88         | 09   | 1            | 2,1              | 1            | 0,4             | -                 |
| Огурцы                   | 95,23      | 0,11 | 0,65         | 0,76             | 0,87         | 0,03            | 0,83              |
| Красный болгарский перец | 92         | 0,2  | 1,5          | 1,6              | 1,4          | 0,08            | -                 |

Огурец богат органическими веществами, которые играют важную роль в обмене веществ. Эти вещества способствуют лучшему усвоению других пищевых продуктов и улучшают процесс пищеварения. Огурец является источником йодных соединений, которые легко и быстро усваиваются организмом. Содержащийся в нём калий улучшает работу сердца и почек. Соотношение натрия и калия в его составе усиливает очищающие свойства организма от токсичных веществ и оказывает мочегонное действие. Согласно результатам исследований, у людей, употребляющих огурцы, снижается риск заболеваний щитовидной железы и сосудистой системы. Пектиновые вещества огурца способствуют выведению холестерина и токсичных веществ из организма.

Витамины — это особые органические вещества, даже небольшое количество витаминов которых оказывает большое влияние на нормальное функционирование организма человека. Витамины повышают физическую и умственную работоспособность, обеспечивают рост и развитие организма, а также его устойчивость к заболеваниям. При недостаточном содержании витаминов в пище работа организма ухудшается, что может привести к серьёзным заболеваниям. Содержание витаминов в компонентах, входящих в состав салата, представлено в таблице 2.

Таблица 2. Витаминный состав сырья, мг/100 г

| Сырьё            | Витамины, 100 мг |            |            |                        |        |                      |            |        |         |
|------------------|------------------|------------|------------|------------------------|--------|----------------------|------------|--------|---------|
|                  | β- каротин       | Е, витамин | С, витамин | В <sub>6</sub> витамин | Ниацин | Пантотеновая кислота | Рибофлавин | Тиамин | Фолацин |
| Морковь          | 0,5              | 1,5        | 80         | 0,1                    | 1,5    | 0,2                  | 0,05       | 0,05   | 15      |
| Огурцы           | 0,06             | 0,1        | 10         | 0,04                   | 0,3    | 0,3                  | 0,04       | 0,03   | 4       |
| Болгарский перец | 8,3              | 0,4        | 7          | 0,1                    | 0,9    | 0,3                  | 0,05       | 0,06   | 10      |
| Зелёный горошек  | 0,5              | 0,2        | 30         | 0,2                    | 1      | 0,3                  | 0,05       | 0,1    | 5       |

Минеральные вещества — это жизненно необходимые пищевые компоненты для организма человека, их недостаток вызывает различные заболевания (таблица 3). Одной из важнейших функций макроэлементов, таких как натрий, калий и хлор, является поддержание постоянного уровня солевого состава крови и осмотического давления, от которого зависит количество воды, содержащейся в крови и тканях.

Таблица 3. Минеральные вещества в составе сырья, на 100 г продукта

| Сырьё            | Зольность | Макроэлементы, мг/100г |          |      |         |    | Микроэлементы, мкг/100г |   |    |      |     |    |      |
|------------------|-----------|------------------------|----------|------|---------|----|-------------------------|---|----|------|-----|----|------|
|                  |           | K                      | Ca       | Mg   | Na      | P  | Fe                      | I | Co | Mn   | Cu  | F  | Zn   |
| Морковь          | 0,6       | 320                    | 25<br>30 | 12   | 69      | 25 | 0,2                     | 1 | 1  | 0,04 | 180 | 86 | 0,24 |
| Огурцы           | 0,5       | 141                    | 23       | 0,18 | 8       | 42 | 0,6                     | 3 | 1  | 0,18 | 100 | 17 | 0,22 |
| Болгарский перец | 0,7       | 150                    | 12       | 10   | 3       | 20 | 0,6                     | 3 | 3  | 0,17 | 75  | 10 | 0,4  |
| Зелёный горошек  | 0,5       | 150                    | 20       | 25   | 30<br>0 | 60 | 0,3                     | 2 | 1  | 0,03 | 67  | 17 | 0,2  |

Овощные консервы, то есть салаты, занимают важное место в рационе питания, особенно в процессе обмена веществ в организме человека, и представляют собой продукты питания, которые удобны для употребления в холодном виде, обладают особым вкусом и длительным сроком хранения. Например, они часто используются в целях профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы, нарушений кровообращения, сахарного диабета, атеросклероза, инфаркта и других заболеваний. Поэтому, учитывая химический состав, пищевые и биологические свойства моркови, огурца и болгарского перца, а также их пользу для улучшения здоровья человека и продления продолжительности жизни, нами предложена рецептура овощного салата с различным соотношением компонентов (таблица 4).

Таблица 4. Рецепт овощного салата

| Наименование продукта | Названия овощей  | Рецептура, % |    |    |    |
|-----------------------|------------------|--------------|----|----|----|
|                       |                  | №1           | №2 | №3 | №4 |
| Овощной салат         | Морковь          | 50           | 50 | 50 | 50 |
|                       | Зелёный горошек  | 20           | 15 | 10 | 5  |
|                       | Болгарский перец | 20           | 20 | 20 | 20 |
|                       | Огурцы           | 10           | 15 | 20 | 25 |

Органолептическая оценка — это метод определения качества продукта с помощью органов чувств человека. Органолептические показатели овощных салатов основываются на следующих критериях:

1. Внешний вид (цвет, форма, однородность): важно, чтобы овощи в составе салата сохраняли свой естественный цвет. Гармоничное сочетание цветов повышает привлекательность продукта. Также оценивается равномерная нарезка овощей (они не должны быть слишком крупными или слишком мелкими).

2. Консистенция (структура, плотность): структура овощей показывает их свежесть. Размягчённые или слишком твёрдые овощи могут снижать качество салата. В правильно приготовленном салате ингредиенты должны быть сочными, но не чрезмерно водянистыми.

3. Вкус: вкус должен быть гармоничным (не должен быть слишком острым, кислым или солёным). Каждый овощ должен сохранять свой естественный вкус. Количество специй и добавок должно быть правильно сбалансировано.

4. Запах: аромат салата должен быть свежим и гармоничным с естественным запахом овощей. Не допускаются запахи порчи, кислоты или посторонние запахи.

В результате проведения органолептической оценки различных видов салатов было установлено, что салат, приготовленный по рецептуре образца №1, обладает очень высоким качеством (таблица 5).

Таблица 5. Органолептические показатели овощных салатов

| Овощные салаты | Органолептические показатели |              |      |       |
|----------------|------------------------------|--------------|------|-------|
|                | Внешний вид                  | Консистенция | Вкус | Запах |
| №1 образец     | 5                            | 5            | 5    | 5     |
| №2 образец     | 5                            | 4            | 5    | 5     |
| №3 образец     | 5                            | 4            | 5    | 4     |
| №4 образец     | 4                            | 4            | 4    | 4     |

Как правило, органолептическое качество овощных салатов оценивается по 5-балльной системе:

- 5 баллов – очень высокое качество, все показатели соответствуют требованиям.
- 4 балла – хорошее качество, но имеются незначительные недостатки.
- 3 балла – удовлетворительное качество, некоторые показатели снижены.
- 2 балла – низкое качество, продукт близок к непригодному для употребления.
- 1 балл – непригодный продукт, не рекомендуется к употреблению.

Органолептическая оценка качества овощных салатов позволяет определить их свежесть, пригодность и удобство для потребления. Салат высокого качества всегда должен иметь свежий внешний вид, гармоничный вкус и приятные органолептические характеристики.

**Использованная литература:**

1. Жумабаев, Т. А. (2017). Технология сельскохозяйственных культур. — Алматы: Издательство «Казахский университет».
2. Есимов, С. К. (2016). Технология производства пищевых продуктов. — Астана: Фолиант.
3. Нуржанов, Б. Р. (2015). Инновации и новые технологии в консервном производстве. — Алматы: Издательство «Экономика».
4. Калиев, Б. С., Маханбетова, Д. К. (2020). Возможности использования бобовых культур в пищевой промышленности. Международный журнал сельского хозяйства, 8(2), 85–91.
5. Бауыржанова, С. Ж. (2019). Роль бобовых культур в традиционных казахских блюдах. Казахский журнал питания, 5(1), 112–118.
6. Сарсенбаев, М. Т. (2018). Технология консервирования пищевых продуктов. — Алматы: Казахский университет.
7. Ахметов, А. К. (2017). Пищевая ценность бобовых культур и технологии их переработки. — Астана: Фолиант.
8. Петров, В. И., Иванов, С. П. (2016). Основы консервного производства. — Москва: Агропромиздат.
9. Kim, Y. S., Lee, S. H. (2019). Improving the Quality of Canned Salads Using Leguminous Crops. Food Science and Technology, 45(3), 234–240.
10. Сулейменова, Г. М. (2020). Совершенствование технологии консервирования бобовых культур в Казахстане. Международный журнал сельского хозяйства, 9(1), 112–118.



# GRAPH AUTOENCODER-BASED CLUSTERING OF URBAN MOBILITY ZONES: SCALABILITY VALIDATION AND CROSS-CITY ANALYSIS ON CHICAGO AND NEW YORK CITY

**Abylai Ayan Azamatuly**

Master's student, Applied Data Analytics, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

**Abstract.** This paper proposes and validates a Graph Autoencoder (GAE)-based pipeline for unsupervised clustering of urban mobility zones using Origin-Destination (OD) taxi data. The pipeline is evaluated across two US cities: Chicago (6.5M trips, 195 zones) and New York City (38.3M trips, 236 Taxi Zones) — a 14× difference in scale. For NYC, two methodological extensions are introduced: (1) Top-K graph sparsification to resolve GCN over-smoothing caused by the dense NYC OD graph (density 0.837), and (2) a stratified clustering protocol separating Manhattan from Outer Boroughs. The resulting ten-cluster NYC typology is externally validated against ACS 2019–2023 census data with large effect sizes ( $\eta^2H = 0.348$  for median income). Monthly OD temporal stability reaches  $\bar{r} = 0.993$ , closely matching Chicago ( $\bar{r} = 0.996$ ). All four research hypotheses are confirmed, demonstrating that the proposed framework generalises across cities of fundamentally different scales and spatial structures.

**Keywords:** *graph autoencoder, GCN, urban mobility, NYC Yellow Taxi, Chicago, Top-K sparsification, stratified clustering, cross-city validation, OD matrix, UMAP, HDBSCAN.*

## 1. Introduction

Urban mobility data, aggregated as Origin-Destination (OD) matrices, captures the functional structure of cities at the zone level. Unsupervised clustering of zones by their mobility patterns can reveal district typologies — commercial cores, residential areas, transit hubs, peripheral zones — without requiring hand-labelled data. Such typologies are directly useful for transport planning, equity auditing, and urban-policy design.

Graph-based representation learning has emerged as a powerful tool for this task: by encoding a city's OD matrix as a weighted graph and training a Graph Autoencoder (GAE) to reconstruct it, one obtains zone-level latent embeddings that capture both the volume and the relational structure of mobility flows. In prior work [13], we validated this approach on Chicago taxi data, producing four interpretable district archetypes confirmed by US Census demographic data. A key open question remained: does the pipeline generalise to cities of a different scale, density regime, and spatial structure?

This paper answers that question through a systematic cross-city extension to New York City. The contributions are: (1) empirical identification of a GCN over-smoothing failure mode on dense urban graphs; (2) a Top-K sparsification remedy with a principled density target; (3) a stratified clustering protocol for cities with a dominant trip-generation core; and (4) the first systematic side-by-side cross-city comparison of a mobility GAE pipeline between Chicago and NYC.

## 2. Related Work

Graph Autoencoders for unsupervised graph representation learning were proposed by Kipf and Welling [1]. Urban applications include privacy-preserving trajectory generation [2] and functional-zone discovery from taxi flows [14]. GCN over-smoothing on dense graphs is theoretically characterised by Keriven [3] and Luan [4]; Liao et al. [5] identify graph sparsification as the primary scalability remedy. UMAP combined with HDBSCAN was shown by Allaoui et al. [6] to outperform alternatives on non-spherical cluster geometry by up to 60%. Cross-city mobility transferability is reviewed by Zhan et al. [7], who identify OD graph density and spatial concentration as the principal sources of negative transfer. Effect-size reporting for Kruskal-Wallis tests follows Liu et al. [8].

## 3. Data and Preprocessing

We study two datasets. For Chicago, we use 6.5M taxi trips (2023) aggregated to 195 Census Tracts, as described in [13]. For NYC, we use the official NYC TLC Yellow Taxi 2023 dataset: 38,310,226 trip records across 263 Taxi Zones, distributed in 12 monthly Parquet files. After applying a filtering cascade (valid zone IDs, trip duration 60s–4h, distance 0.1–60mi, fare \$0–\$300), 36,463,746 trips remain (95.2% coverage). Zones with fewer than 50 annual trips are excluded, leaving 236 valid zones. Table 1 summarises both datasets.

Table 1. Dataset comparison

| Parameter            | Chicago           | NYC            |
|----------------------|-------------------|----------------|
| Raw records          | 6.50 M            | 38.31 M        |
| Cleaned trips        | 2.63 M            | 36.46 M        |
| Coverage             | 40.5%             | 95.2%          |
| Spatial units        | 195 Census Tracts | 236 Taxi Zones |
| Raw OD graph density | 0.254             | 0.837          |
| Post-Top-K density   | 0.254             | 0.253          |

For each zone, a 96-dimensional feature vector is computed: 24 outgoing-hour shares, 24 incoming-hour shares, flow-balance ratios, trip-characteristic statistics (distance, fare, duration), period-of-day proportions, seasonality features, weekend/weekday splits, and payment-type shares. All features are Z-score normalised.

## 4. Methodology

### 4.1 GAE Pipeline

The pipeline follows five stages: (i) OD-graph construction with minimum-flow threshold  $\theta_{\min} = 3$  trips; (ii) two-layer GCN encoder ( $96 \rightarrow 64 \rightarrow 32$  dimensions, ReLU, batch normalisation, dropout 0.3) trained to reconstruct the adjacency matrix via binary cross-entropy; (iii) extraction of 32-dimensional zone embeddings; (iv) clustering on the embeddings; (v) external validation via demographic data. This pipeline was originally developed and validated on Chicago data [13].

### 4.2 Top-K Graph Sparsification

Applying the pipeline directly to the NYC OD graph (density 0.837) yields validation AUC = 0.66 — well below the Chicago result (0.79). Embedding analysis confirms GCN over-smoothing: standard deviation of latent vectors collapses to 0.034 vs. 0.177 in Chicago. To remedy this, we retain for each zone only the K largest outgoing flows, then symmetrise:

$$d(K) \approx K / (N - 1) \rightarrow K = 38 \text{ yields density } 0.253 \approx \text{Chicago } (0.254)$$

The sparsified graph has 7,006 edges, mean degree 59.4, no isolated nodes, and GAE training recovers to AUC = 0.685.

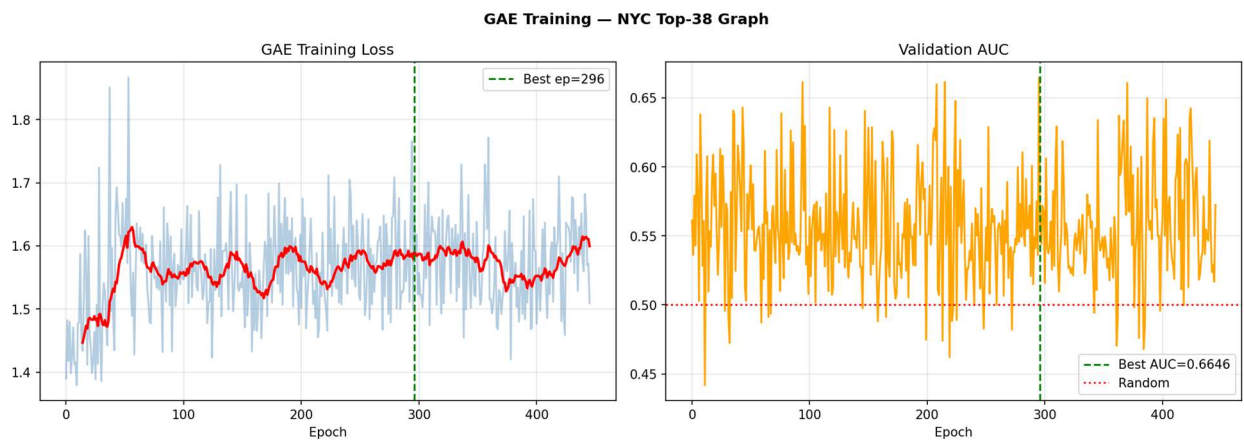


Figure 1. GAE training curves. Top-K sparsification recovers encoder discriminability.

### 4.3 Stratified Clustering

Manhattan (66 zones, 89.8% of all trips, Gini  $G = 0.865$ ) occupies a qualitatively different region of the feature space than the Outer Boroughs (170 zones). A single clustering algorithm applied to all 236 zones produces imbalanced results. We partition zones by borough and apply the best-fit algorithm to each stratum:

- Manhattan: UMAP ( $n\_neighbors=15$ ,  $min\_dist=0.1$ ,  $dim=8$ ) + HDBSCAN ( $min\_cluster\_size=3$ ). Result: 6 clusters, Silhouette 0.555 (15 noise zones excluded).
- Outer Boroughs: K-Means  $k=4$  on 17 key mobility features. Result: 4 clusters, Silhouette 0.470.

The combined ten-cluster typology covers 221 zones.

## 5. Results

### 5.1 Exploratory Analysis

Manhattan's extreme concentration (Gini = 0.865 vs. 0.62 in Chicago) distinguishes the NYC dataset structurally. The top 38 zones alone account for 90% of all pickups. Trip volumes are slightly higher in winter than summer (ratio 0.964), with May as the busiest month (3.37M) and September as the quietest (2.67M). Manhattan peaks in the evening (18:00; evening share 16–19: 26.6%), while Bronx and Brooklyn residential zones peak in the morning (8–9:00, morning share 6–9: 20–32%).

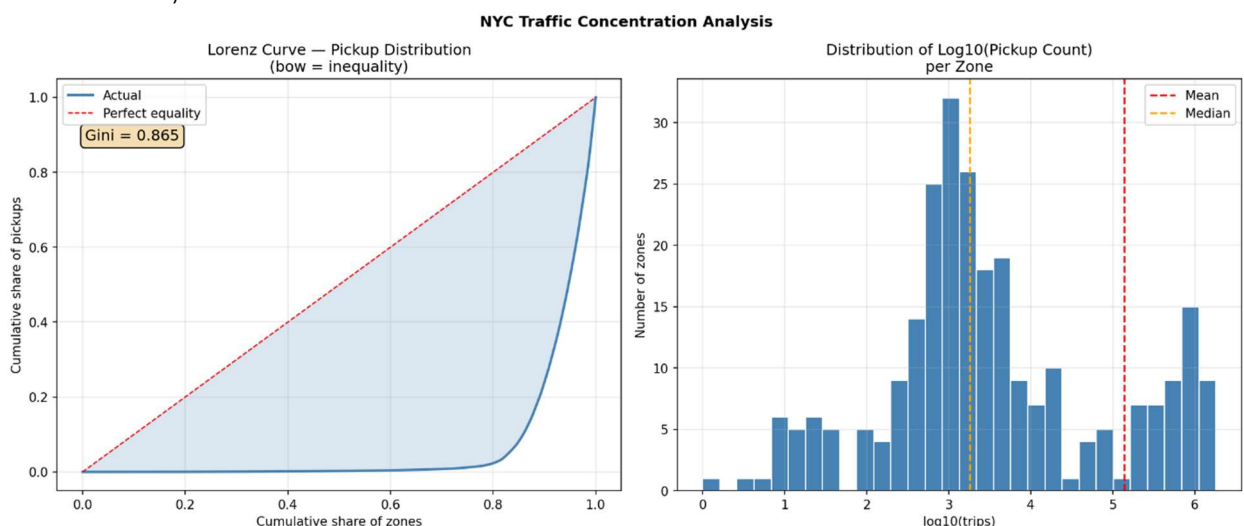


Figure 2. Trip-generation concentration across 236 NYC Taxi Zones.

## 5.2 Method Comparison

Table 2. Representation comparison — joint K-Means  $k=10$  on 236 zones

| Method              | Silhouette $\uparrow$ | Davies-Bouldin $\downarrow$ | Calinski-Harabász $\uparrow$ |
|---------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| PCA ( $k=4$ )       | 0.247                 | 1.901                       | 42.7                         |
| GAE Top-K ( $k=2$ ) | 0.423                 | 0.905                       | 161.2                        |
| UMAP (mcs=3)        | 0.672                 | 0.469                       | 912.9                        |

UMAP achieves the highest joint Silhouette (0.672), inverting the Chicago ordering (GAE 0.567 > UMAP 0.428). This reflects UMAP's ability to handle the bimodal Manhattan/Outer-Borough latent distribution. However, stratified clustering (Section 4.3) improves upon joint UMAP within each stratum separately.

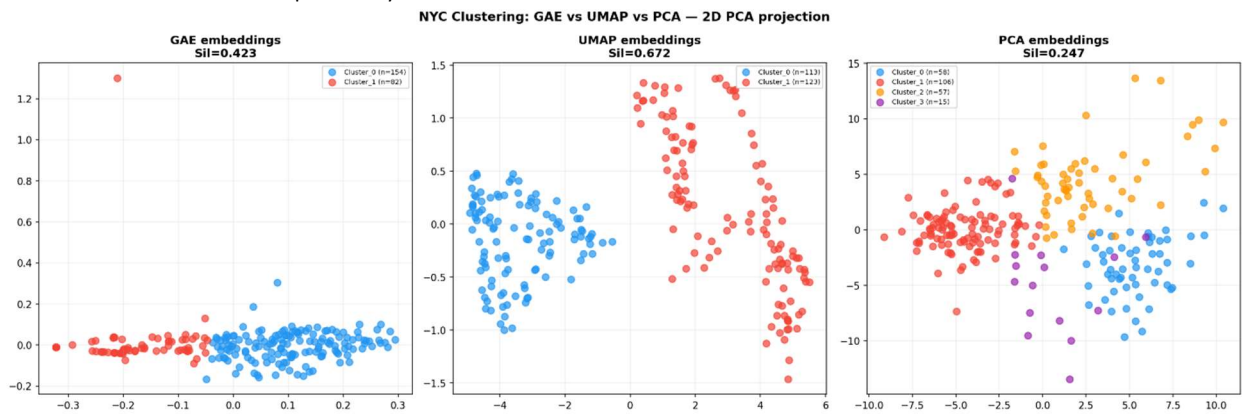


Figure 3. Embedding projections. UMAP clearly separates Manhattan (dense right cluster) from Outer Boroughs.

## 5.3 Ten-Cluster Typology

Figure 4 shows the final ten-cluster spatial map. Tables 3–4 report profiles for Manhattan and Outer-Borough clusters, with ACS 2019–2023 demographic statistics.

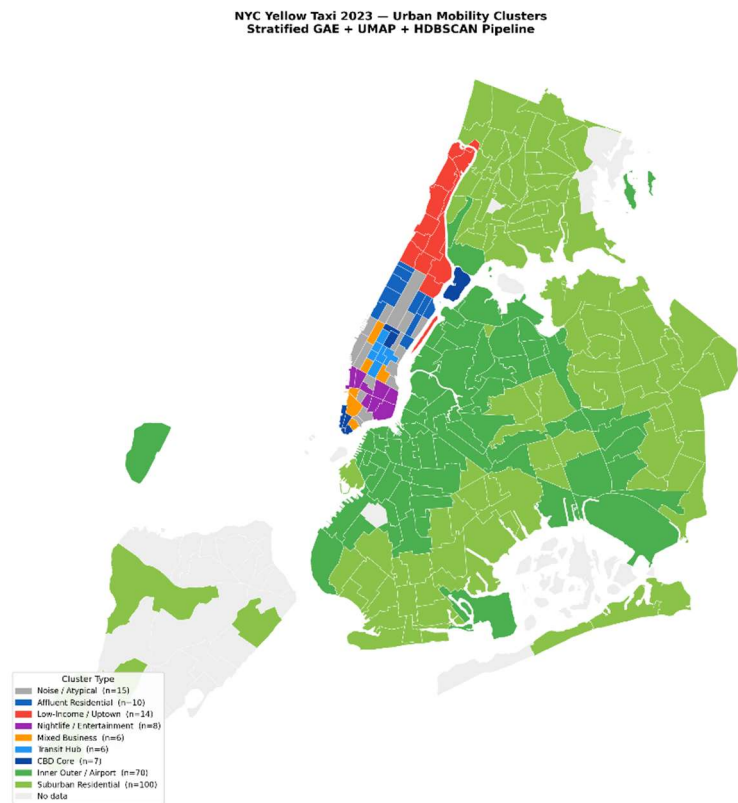


Figure 4. Spatial distribution of the ten NYC mobility clusters.

Table 3. Manhattan cluster profiles (ACS 2019–2023 5-Year Estimates)

| #  | Archetype                          | Zones | Med. income | Bach.+% | Unemp.% | Avg fare \$ | Sil. |
|----|------------------------------------|-------|-------------|---------|---------|-------------|------|
| C1 | Affluent Residential (UES/UWS)     | 10    | \$156,200   | 80.3    | 6.5     | 18.9        | 0.59 |
| C2 | Low-Income Uptown (Harlem)         | 14    | \$49,400    | 38.0    | 9.7     | 21.4        | 0.51 |
| C3 | Nightlife (Village/LES)            | 8     | \$123,100   | 68.7    | 5.8     | 17.2        | 0.55 |
| C4 | Mixed Business (Gramercy/Flatiron) | 6     | \$184,300   | 84.9    | 3.1     | 19.1        | 0.56 |
| C5 | Transit Hub (Penn/Times Sq/GCT)    | 6     | \$160,900   | 69.1    | 5.0     | 18.7        | 0.57 |
| C6 | CBD Core (Midtown/WTC/Financial)   | 7     | \$203,800   | 73.6    | 8.4     | 16.8        | 0.58 |

Table 4. Outer-Borough cluster profiles

| #   | Archetype                             | Zones | Med. income | Bach.+% | Unemp.% | Avg fare \$ | Sil. |
|-----|---------------------------------------|-------|-------------|---------|---------|-------------|------|
| C7  | Gentrified Inner (Williamsburg/LIC)   | 43    | \$111,800   | 48.3    | 7.4     | 27.5        | 0.51 |
| C8  | Middle Residential (Crown Hts/Bronx)  | 32    | \$79,600    | 37.5    | 8.6     | 30.8        | 0.46 |
| C9  | Airport / High-Traffic (JFK+LGA)      | 63    | \$90,900    | 37.1    | 8.0     | 40.3        | 0.49 |
| C10 | Deep Peripheral (East NY/Canarsie/SI) | 32    | \$60,800    | 23.9    | 11.0    | 34.9        | 0.43 |

#### 5.4 Demographic Validation and Effect Sizes

Kruskal-Wallis tests across ten clusters ( $k = 10$  groups,  $n = 236$  zones) confirm statistically significant differences on all tested variables. Effect sizes  $\eta^2H = (H - k + 1) / (n - k)$  are reported following [8].

Table 5. Kruskal-Wallis validation with  $\eta^2H$  effect sizes ( $k=10, n=236$ )

| Variable                              | H statistic | p-value  | $\eta^2H$ | Magnitude |
|---------------------------------------|-------------|----------|-----------|-----------|
| Median household income               | 87.6        | < 0.0001 | 0.348     | Large     |
| Bachelor's degree share               | 76.0        | < 0.0001 | 0.296     | Large     |
| Unemployment rate                     | 33.4        | < 0.001  | 0.108     | Moderate  |
| Population density (km <sup>2</sup> ) | 64.1        | < 0.0001 | 0.246     | Large     |

The income effect ( $\eta^2H = 0.348$ ) indicates that cluster assignment alone — with no demographic input to the model — explains approximately 35% of cross-zone income variance. The Transit Hub cluster (C5) is the most structurally unique: it aggregates Penn Station, Grand Central, Port Authority Bus Terminal, and Times Square into a single redistribution node, appearing in four of the six largest city-wide OD flows. No equivalent cluster exists in the Chicago typology.

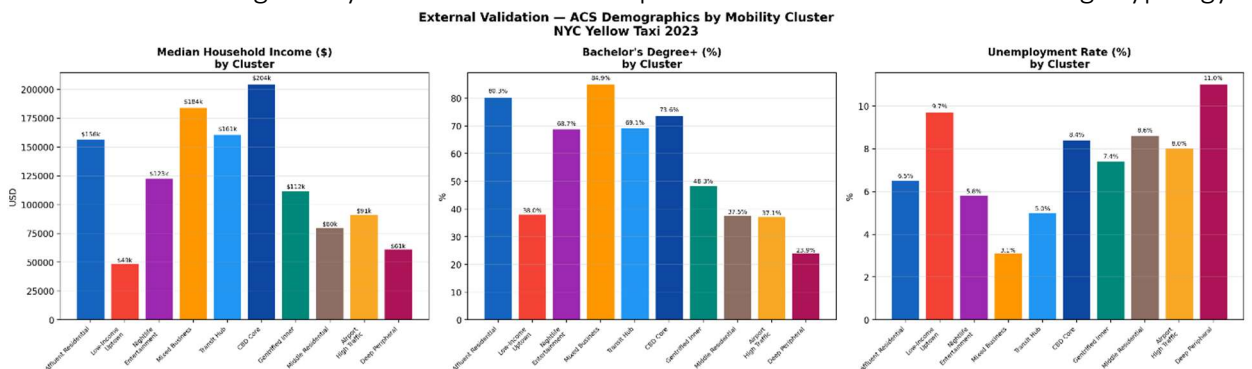


Figure 5. ACS demographic validation. Large between-cluster differences confirm typology coherence.

#### 5.5 Temporal Stability

Twelve monthly OD matrices are correlated pairwise. The mean off-diagonal Pearson correlation is  $\bar{r} = 0.993$  (min 0.974), closely matching Chicago ( $\bar{r} = 0.996$ ) and substantially exceeding the hypothesis threshold of 0.95. This confirms that aggregate OD structure is a slowly-varying property of the city, robust to 14× differences in scale.

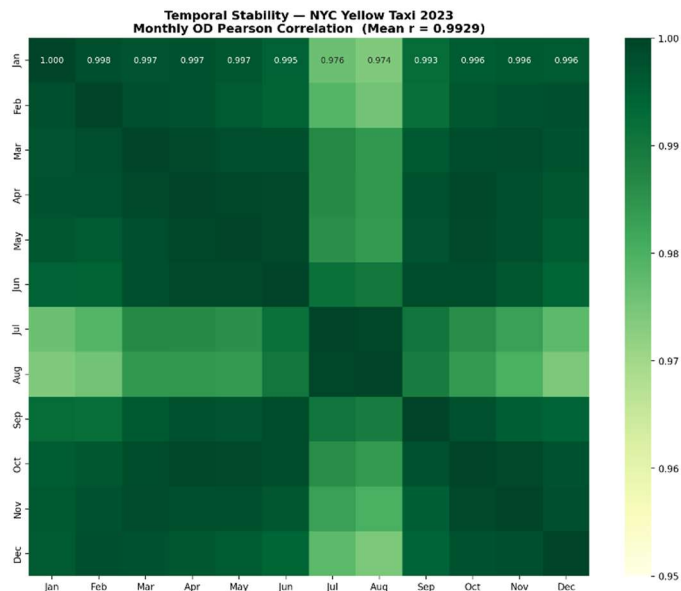


Figure 6. Monthly OD temporal stability (NYC, 2023).  $\bar{r} = 0.993 \approx$  Chicago  $\bar{r} = 0.996$ .

6. Cross-City Comparison

Table 6. Side-by-side comparison: Chicago vs. NYC

| Metric                            | Chicago | NYC      |
|-----------------------------------|---------|----------|
| Cleaned trips                     | 2.63 M  | 36.46 M  |
| Spatial units                     | 195     | 236      |
| Raw OD graph density              | 0.254   | 0.837    |
| GAE AUC (raw graph)               | 0.79    | 0.66     |
| GAE AUC (matched density / Top-K) | 0.79    | 0.685    |
| Number of clusters                | 4       | 10 (6+4) |
| Best within-stratum Silhouette    | 0.567   | 0.555    |
| Income $\eta^2H$                  | 0.320   | 0.348    |
| Monthly OD $\bar{r}$              | 0.996   | 0.993    |
| Core trip share                   | 65%     | 89.8%    |
| Gini coefficient                  | 0.62    | 0.865    |

Three findings stand out. First, matched-density GAE training yields comparable AUC across cities (0.79 vs. 0.685), supporting the interpretation that graph density — not city identity — is the principal determinant of encoder performance. Second, temporal stability ( $\bar{r} > 0.99$ ) is a universal regularity reproducible across a 14× scale difference. Third, cluster count and spatial structure are city-specific: NYC requires 10 clusters and stratified clustering due to its dominant core, while Chicago is adequately served by 4 clusters and unified clustering.



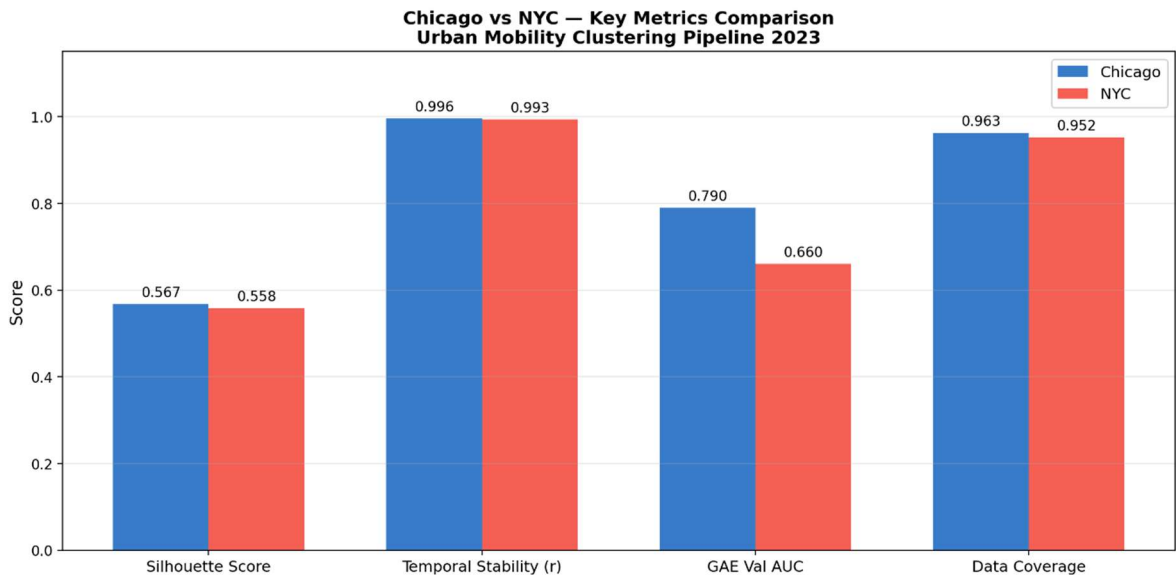


Figure 7. Cross-city comparison. Matched-density AUC and temporal stability show strong convergence.

## 7. Research Hypotheses Evaluation

Table 7. Hypothesis testing summary

| H# | Hypothesis                       | Evidence                                                            | Verdict   |
|----|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| H1 | Pipeline scalability to 14× data | Sil 0.555/0.470; income $\eta^2H=0.348$ , $p<0.0001$                | Confirmed |
| H2 | GCN density bound                | AUC: 0.66 (raw, $d=0.837$ ) $\rightarrow$ 0.685 (Top-K, $d=0.253$ ) | Confirmed |
| H3 | Stratified > unified clustering  | Stratified avg Sil 0.495 vs. joint GAE 0.423 (+17%)                 | Confirmed |
| H4 | Temporal stability is universal  | NYC $\bar{r}=0.993$ ; Chicago $\bar{r}=0.996$ ; both > 0.95         | Confirmed |

## 8. Discussion

The ten-cluster NYC typology recovers recognisable functional districts from mobility data alone. The Transit Hub (C5) — unique to NYC — and the Deep Peripheral cluster (C10, income \$60,800, unemployment 11.0%) are the most policy-relevant findings. The former defines the city's primary redistribution node; the latter quantifies outer-ring transport-access poverty in a single externally-validated cluster.

The Top-K sparsification finding provides a practical recommendation: for two-layer GCN autoencoders on city-scale OD graphs of 200–300 nodes, a target density of approximately 0.25 ( $K \approx N/7$ ) restores discriminative embeddings. This is the first reported quantitative demonstration of the GCN over-smoothing pathology on a real urban OD graph, empirically confirming theoretical predictions [3, 4].

A limitation of the present work is its focus on yellow-taxi trips (~18% of for-hire trips in NYC). Multi-modal integration (FHV, subway, Citi Bike) remains future work. The two-city comparison is suggestive of universal regularities but replication on additional cities is required for definitive claims.

## 9. Conclusion

We demonstrated that a GAE-based mobility-clustering pipeline generalises from Chicago to a 14× larger NYC dataset with two targeted extensions: Top-K graph sparsification and stratified

clustering. The ten-cluster NYC typology is externally validated with large effect sizes (income  $\eta^2H = 0.348$ ). Monthly OD temporal stability ( $\bar{r} = 0.993$ ) closely matches Chicago ( $\bar{r} = 0.996$ ), providing cross-city evidence that aggregate OD structure is a slowly-varying urban property. All four research hypotheses are confirmed. The proposed framework — with explicit density control and stratification — offers a transferable template for mobility-based zone typology in any city with a dense OD graph or a dominant trip-generation core.

## References

1. Kipf T.N., Welling M. Variational Graph Auto-Encoders // NeurIPS BDL Workshop. 2016. arXiv:1611.07308.
2. Schöll R. et al. Privacy Preserving Human Mobility Generation Using Graph Autoencoders // ISPRS IJGI. 2024. 13(7):245.
3. Keriven N. Backward Oversmoothing in Graph Neural Networks // arXiv:2505.16736. 2025.
4. Luan S. On Addressing the Limitations of Graph Neural Networks // arXiv:2306.12640. 2023.
5. Liao N. et al. Advances in Designing Scalable GNNs // SIGMOD/PODS 2025. DOI:10.1145/3722212.3725634.
6. Allaoui M. et al. Considerably Improving Clustering Algorithms Using UMAP // ICISP 2020. Springer LNCS 12119.
7. Zhan J. et al. Cross-city transfer learning for sustainable transportation // Sustainable Futures. 2025.
8. Liu C.C. et al. Effect sizes for nonparametric tests // BMC Medical Research Methodology. 2025.
9. Campello R.J.G.B. et al. Hierarchical Density Estimates for Clustering // ACM TKDD. 2015.
10. McInnes L. et al. UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection // arXiv:1802.03426. 2018.
11. NYC Taxi and Limousine Commission. TLC Trip Record Data — Yellow Taxi 2023. NYC Open Data, 2024.
12. Cao W. et al. Multi-level urban clusters based on population distributions // Comput. Environ. Urban Syst. 2023.
13. Abylai A.A., Kuatbayeva A.A. Graph Autoencoder Pipeline for Urban Mobility Zone Clustering: A Chicago Case Study // Astana IT University, 2025.
14. Zhang Q. et al. HGAurban: Heterogeneous Graph Autoencoding for Urban ST Learning // arXiv:2410.10915. 2024.

# კავკასიური დეკას ფოთლები – „მატეს“ ტიპის ჩაის მიღების ალტერნატიული ნედლეული და მისი ტექნოლოგია

თამარ კოპალიანი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი საქართველო

**რეზიუმე:** „მატეს“ ტიპის ჩაის მისაღებად შემოთავაზებულია ალტერნატიული ნედლეული – კავკასიური დეკას ფოთლები. შესწავლილია დეკას მორფოლოგიურ-ანატომიური ნიშნები და ქიმიური შემადგენლობა, შემუშავებულია ტექნოლოგიური სქემა  
**საკვანძო სიტყვები:** „მატე“, კავკასიური დეკა, მორფოლოგიურ-ანატომიური ნიშნები, ტექნოლოგიური სქემა

## ძირითადი ნაწილი

მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, საქართველოს ჩაის სანედლეულო ბაზრის გაფართოების, მიზნით, ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით მდიდარი, არატრადიციული, ბალახოვანი და ველური მცენარეული ნედლეულის მოძიება, კვლევა, ტექნოლოგიის დამუშავება და გამოყენება, სამუშაო ადგილების შექმნა, ნედლეულის და პროდუქციის დამზადების სფეროში, ინფრასტრუქტურის განვითარება, მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობის გაუმჯობესება მაღალი ბიოლოგიური ღირსების მქონე პროდუქტის მოხამრების საფუძველზე, ასევე მნიშვნელოვანი და აქტუალურია სამამულო ჩაის მრეწველობა და ინოვაციური პოტენციალის გაზრდა.

გარკვეული სამუშაოების ჩატარების შემდეგ ჩვენთვის საინტერესო აღმოჩნდა „მატეს“ ტიპის ჩაი, „მატე“ ანუ „პარაგვაის ჩაი“ ბოლო დროს სულ უფრო დიდი პოპულარობით სარგებლობს, ჩაის ასეთი პოპულარობა აიხსნება მაღალი გემოვნური და სასარგებლო თვისებებით, „მატე“-ს ჩაის წარმოებისათვის გამოყენებული ნედლეული ტროპიკულია, უაღრესად შეზღუდული სარესურსო არეალით, რის გამოც შეუძლებელია დამზადდეს საბაზრო მოთხოვნილების საკმარისი რაოდენობით მზა პროდუქტი, რაც აისახება „მატე“-ს ჩაის დეფიციტში, სამიზნე პროდუქტი წარმოადგენს ორგანულს (Organik), რაც შეიძლება გახდეს მზარდი მოთხოვნილების საგანი. მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანია ეკონომიკური და სოციალური კუთხითაც.

ამ მხრივ ჩვენს მიერ არჩევანი გაკეთდა კავკასიური დეკას ფოთლებზე, რომელიც ანატომიური აგებულებითა და ბიოლოგიური თვისებებით ძალიან ხლოსაა ტრადიციულ *Ilex Paraguerinsis St.Hill*– თან, ამასთან არ შეიცავს კოფეინს და სხვა ძლიერმოქმედ ალკალოიდებს, რაც შესაძლებლობას იძლევა გამოვიყენოთ იგი შეუზღუდავად ნებისმიერი ასაკოვანი ჯგუფის მომხმარებლისათვის და შედეგად მნიშვნელოვნად გავაფართოვოთ „მატეს“ ჩაის სანედლეულო ბაზა

კავკასიური დეკა (*Rhododendron caucasicum pall*) მანანასებრთა ოჯახის რელიქტური მცენარეა როდოდენდრონის გვარისა. მარადმწვანე, სიმაღლით 1-1,5 მ-მდე სიმაღლის ბუჩქი. აქვს მოგრძო, ტყავისებრი ფოთლები, რომელთა ზედა მხარე შიშველია, ქვედა კი – ქეჩისებრ ბუსუსიანი, ყვავილები მეტად ლამაზი, ზარისებრი, თეთრი ან მოყვითალო, ზოგჯერ ვარდისებრი ელფერით. ნაყოფი ხუთბუდიანი კოლოფია. გავრცელებულია კავკასიის სუბალპურ და ალპურ სარტყელში ზღვის დონიდან 1600-3000 მ-მდე. ჩვენს სუბალპურ ტყეებში

(არყნარები, წიფლნარები) დეკა იზრდება ძაღზე შეკრულ ქვეტყედ. ალპურ სარტყელში ჩრდილოეთ კალთებზე ქმნის ასევე ხშირ რაყას– დეკიანს. ყვავილობს ივნის-ივლისში [სურ. 1,2].

ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ დეკას ფოთლებიდან მიღებული ნაყენს, ახალგაღენურ პრეპარატს „როდოდენზიდს“ გააჩნიათ ჰიპოთენზური და კარდიოტონიკური თვისებები, ახდენენ დიურეტიულ და სედატიურ მოქმედებას. ნაყენმა ვირთხებზე ცდებში გამოიწვია მუშაობისუნარიანობის გაზრდა და გამოავლინა ბაქტერიოციდული თვისებები როგორც გრამ-დადებითი, ისე გრამ-უარყოფითი ბაქტერიების მიმართ [1-25].



კავკასიური დეკა განეკუთვნება საქართველოს ენდემური მცენარეების ჯგუფს და გავრცელებულია ყველა მაღალ მთიან რაიონში. ფოთლების შედგენილობა ვეგეტაციის სხვადასხვა პერიოდებში სხვადასხვაა: გაზაფხულზე ჭარბობს გასული წლის ფოთლები (ორწლიანი და სამწლიანი), შემოდგომაზე - ერთწლიანი.

ცხრილი 1. კავკასიური დეკას ფოთლების გაზომვის მონაცემები

| გაზომვის<br>ნომერი | სიგრძე, სმ |          | ფოთლის<br>სიგანე, სმ |
|--------------------|------------|----------|----------------------|
|                    | ფოთლის     | დეროების |                      |
| 1                  | 14,7       | 0,8      | 6,1                  |
| 2                  | 15,1       | 1,4      | 5,8                  |
| 3                  | 13,8       | 2,0      | 5,5                  |
| 4                  | 14,2       | 1,9      | 4,8                  |
| 5                  | 10,2       | 0,6      | 5,4                  |
| 6                  | 13,0       | 1,0      | 6,0                  |
| 7                  | 12,8       | 0,8      | 5,4                  |
| 8                  | 12,6       | 1,6      | 5,2                  |
| 9                  | 14,4       | 2,0      | 5,8                  |
| 10                 | 10,8       | 1,0      | 5,0                  |
| საშუალო            | 13,16      | 1,31     | 4,96                 |



სურ N3 დეკას ფოთლების გაზომვის პროცესი

ლიტერატურული წყაროებიდან ცნობილია კავკასიური დეკას ფოთლებში ტრიტერპენოიდების, არბუთინის, კატეხინების, ფლავონოიდების და მთრიმლავი ნივთიერებების არსებობა. ჩვენს მიერ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ზოგიერთ კლასზე ჩატარებული ჰისტოქიმიური რეაქციების შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.2-ში და ადასტურებენ მონაცემებს ნედლეულის ხარისხობრივ შედგენილობაზე.

ცხრილი N2. ბიოაქტიური ნივთიერებების ლოკალიზაცია კავკასიური დეკას ფოთლების ქსოვილებში

| ბუნებრივი<br>ნაერთების<br>კლასები | რეაქცია                                                          | ბიოაქტიური<br>ნივთიერებების<br>ლოკალიზაცია                                                                                                                                     |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| მთრიმლავი<br>ნივთიერებებ<br>ი     | რკინის ჟანგის ქლორიდთან                                          | ზედა ეპიდერმაში<br>ფირფიტების,<br>ბეწვების,<br>ფლოემის<br>ელემენტების,<br>ქსილემის სხივური<br>პარენქიმის,<br>დისკოს ლაფნის<br>ბოჭკოების<br>შეფერვა                             |
|                                   | მოლიბდენ-მჟავე<br>ამონიუმთან<br>(გარდინერის მეთოდის<br>მიხედვით) | დისკოს ლაფნის<br>ბოჭკოების,<br>კოლენხიმის<br>ნარინჯისფერი<br>შეფერვა                                                                                                           |
|                                   | ორქრომკალიუმის<br>მარილით                                        | ეპიდერმის და<br>ქსოვილების<br>ძარღვების,<br>ფლოემის,<br>ქსილემის<br>პარენქიმის,<br>ჰიპოდერმის სუსტი<br>შეღებვა                                                                 |
| კატეხინები                        | რივას მეთოდით                                                    | კოლენქიმის<br>ბოჭკოვანი ბეწვის<br>ქსოვილის<br>გარშემო წითელი<br>შეფერვა, სუსტად –<br>ფლოემაში,<br>ფრაგმენტუ-ლად<br>კოლენქიმის<br>ბეწვების<br>გვერდითი ვენების<br>და ჰიპოდერმის |

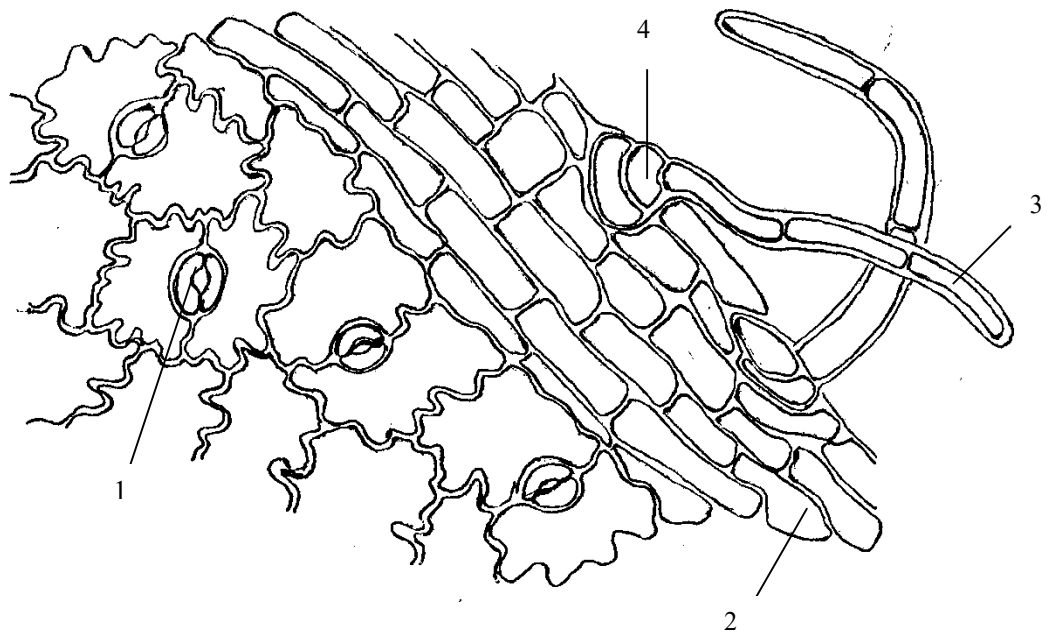
|                                                     |                                                            |                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| არბუთინი                                            | ამიაკისა და 10%-ანი ფოსფორ-მოლიბდენის მჟავასხსნარით HCl-ში | ლურჯი- მწვანე შეფერვა პერიფერიული პარენქიმის მთავარი ძარღვების გარშემო, სუსტად – პარენქიმის ქსილემის, ჰიპოდერმის, მეზოფილის - თანდათანობითი შეფერვა |
| ფლავონოიდები                                        | მეტალური Mg და კონცენტრირებული HCl                         | პარენქიმის ქსილემის სუსტი შეღებვა, ბეწვები და ზედა ეპიდერმა შეიღება წითელ-ყავისფრად                                                                 |
| ფლოროგლუცინის, რეზორცინის, კატეხინების წარმოებულები | ვანილინის 1%-ნი ხსნარით და კონცენტრირებული HCl-ით          | ეპიდერმის ქვედა ღრუს მრავალუჯრედიანი ბეწვების გამოხატული შეღებვა                                                                                    |

ამრიგად, ჰისტოქიმიურმა რეაქციებმა დაადასტურეს ლიტერატურული მონაცემები ბიოაქტიური ნივთიერებების-ფლავონოიდებისა და მთრიმლავი ნივთიერებების არსებობაზე, რომელთა დაგროვება პირდაპირ დამოკიდებულია ფოთლების ვეგეტაციის ფაზაზე, ბუსუსების წარმოქმნაზე, მათ რაოდენობაზე ფოთლის ქვედა მხარეზე, ფოთლის დამზადების პერიოდსა და მის შენახვის პირობებზე და სხვა. ნედლეულის სასაქონლო მახასიათებლები განისაზღვრა როგორც 5 საცდელი სერიის საშუალო სტატისტიკური. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.



ცხრილი 3. დეკას ფოთლების სასაქონლო ანალიზის შედეგები

| მაჩვენებლის დასახელება | ნორმა                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | განსაზღვრის მეთოდი        |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| გარეგანი ნიშნები       | მთლიანი ან ნაწილობრივ დაწვრილმანებული ფოთლების ნარევი, დეროვანი, ელიპტური ან შებრუნებულ ფართო ლანცეტური, ბლაგვწვეტიანი წვერით და სოლისებრი ფორმის ფუძეთი, ერთიან პირიანი, ქვემოთ დახრილი კიდეებით, სიგრძით 10–15 სმ, სიგანით 5–6 სმ. ფოთლები ზემოდან მუქი-მწვანე, შიშველი, მბრწყინავი, ქვემოდან მომწვანო-დაბურული                                                                                       | სფ XI, გამოცემა I, გვ.252 |
| მიკროსკოპია            | ზედა ეპიდერმისის უჯრედის ზედაპირი მრავალკუთხოვანი, მსხვილი. არასწორი ფორმის სქელი, ძლიერ ხვეული კედლებით. შეერთების ადგილებში მრავალრიცხოვანი, მსხვილი, მომრგვალებული, შემოსაზღვრული ორი უჯრედით. ბუსუსები მრავალრიცხოვანი, სამლენტოვანი, სქელკედლიანი, თასმისებრი, შევსებული დია-რუხი ციტოპლაზმით. ბუსუსის ფუძე წარმოქმნილია ორი ჩალისფერი შესქელებული ბეჭდის ფორმის ერთიმეორეზე განლაგებული უჯრედებით | სფ XI, გამოცემა I, გვ.277 |



სურათი 4. ღეკას ფოთლების ეპიდერმისის აგებულება (x250)

1-ბაგის აპარატის პარაცელული ტიპი;

2-ხვეული კედლის უჯრედების ეპიდერმისი;

3-მარტივი ბუსუსი

4-წრიული უჯრედები ბუსუსების მიერთების ადგილზე

ღეკას ფოთლის ეპიდერმისი არის ჯავშანი. რომელიც შედგება სქელი კუტიკულისგან, ზემოდან და მჭიდრო შებუსვისგან ქვემოდაც, ეს აგებულება საშუალებას აძლევს მცენარეს გაუძლოს კავკასიონის მაღალმთიან მკაცრ ზამთარს და ფიზიოლოგიურ გვალვას

ცხრილი N4 ღეკას ფოთლის ქიმიური შედგენილობა და ანტიოქსიდანტური აქტივობა

| დასახელება      | საერთო მასობრივი, % | საერთო ამინომჟავები, გ/100 გ | პოლიფენოლები, გ/100 გ | ვიტამინი C, მგ/100 გ | 100 გ ნიმუშის ანთროსი (ვიტამინი C-ს ექვივალენტი მგ-ში) |
|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|
| ნედლი ფოთოლი    | 1,2                 | 0,4                          | 1,4                   | 55,0                 | 850                                                    |
| გამშრალი ფოთოლი | 5,8                 | 1,0                          | 3,5                   | 154,1                | 3400                                                   |

ცხრილი4–დან ჩანს, რომ დეკას ფოთოლი ხასიათდება მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტივობით.

ცხრილი N 5

დეკას ფოთოლის ანტიოქსიდანტური აქტივობის დამოკიდებულება პოლიფენოლების შემცველობაზე

| დასახელება                  | პოლიფენოლები,<br>გ/100 გ | 100 გ ნიმუშის<br>პოლიფენოლების<br>აოა<br>((ვიტამინ C-ს<br>ექვივალენტი<br>მგ-ში) | 1 გ<br>პოლიფენოლების<br>ხვედრითი<br>აქტივობა<br>((ვიტამინ C-ს<br>ექვივალენტი<br>მგ-ში) |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| დეკას<br>ნედლი<br>ფოთოლი    | 1,4                      | 795                                                                             | 567,9                                                                                  |
| დეკას<br>გამშრალი<br>ფოთოლი | 3,5                      | 3246                                                                            | 927,4                                                                                  |

მიღებული შედეგები ნათლად მიუთითებს დეკას ფოთლის მაღალ ბიოლოგიურ ღირსებაზე და მისი ჩაის პროდუქტის საწარმოებლად გამოყენების პერსპექტივაზე.

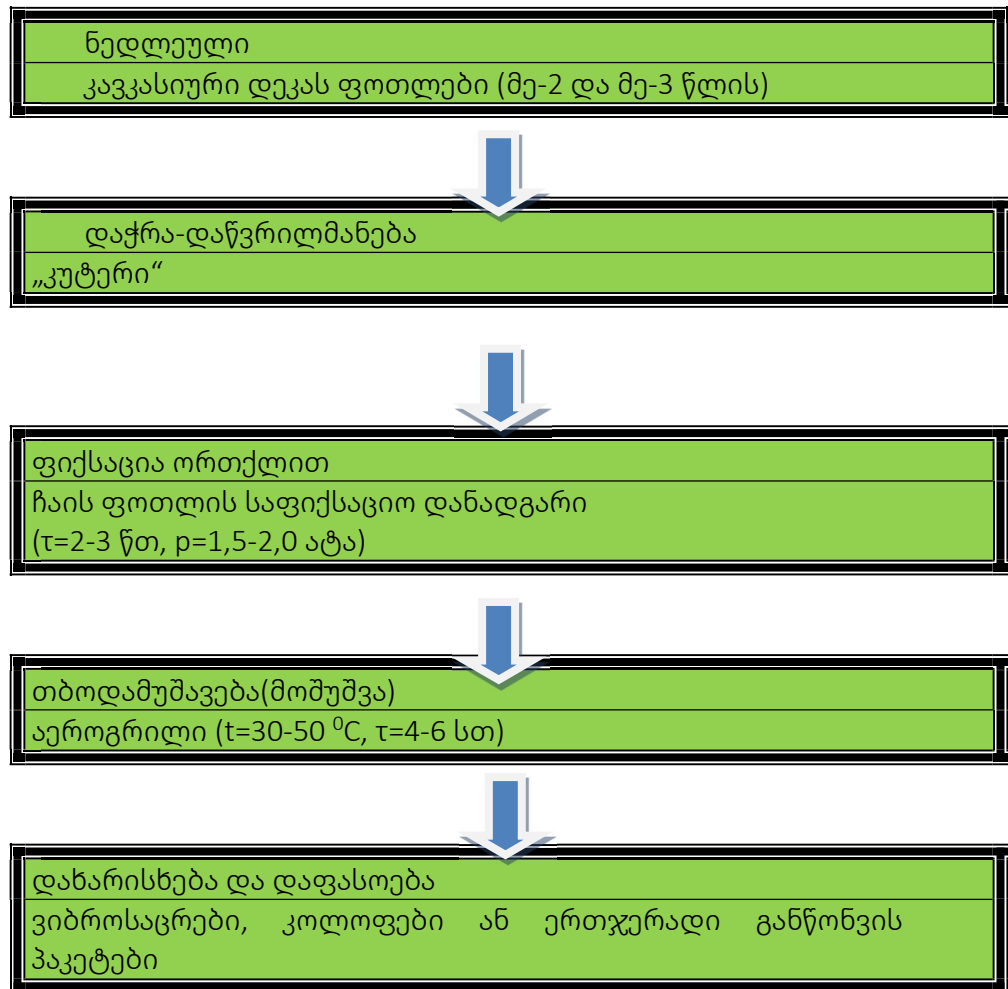
ჩვენთვის საინტერესოა დეკას ჩაის სამრეწველო ტექნოლოგიები. საინფორმაციო და საპატენტო მონაცემების ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ დეკას ჩაის მიღების ტექნიკური გადაწყვეტები სულ რამდენიმეა. მათგან აღსანიშნავია ტექნიკური გადაწყვეტა, რომლის მიხედვით დეკას ფოთლებს აღნობენ, აწვრილმანებენ ორჯერად –ჯერ ნაწილაკების 1,5–1,6 მმ ზომამდე, შემდეგ 0,4–0,6 მმ ზომამდე, გრეხენ და აშრობენ (26-28)

ცნობილი ხერხის ნაკლოვანება მდგომარეობს იმაში რომ ნედლეულის დამუშავების მოცემული რეჟიმები ვერ უზრუნველყოფს მასში ჩაის პროდუქტისათვის აუცილებელ ბიოქიმიურ გარდაქმნებს, ეს კი საბოლოო ჯამში უარყოფითად აისახება მზა პროდუქციის ხარისხსა და ბიოლოგიურ ღირსებებზე, ჩვენი მიზანია შევიშუაოთ ტექნოლოგიური სქემა რომელიც უზრუნველყოფს მზა პროდუქტის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესებას, ბიოლოგიური თვისებების ამაღლებას და ასორტიმენტის გაფართოებას. შედარებით „რბილი“ რეჟიმები, რომელთა მეშვეობით მუშა აგენტი ვერ უზრუნველყოფს დეკას ფოთლის უხეში სტრუქტურის საჭირო რღვევას და ჩაის პროდუქტისათვის აუცილებელი ბიოქიმიური გარდაქმნების განხორციელებას. ეს კი უარყოფითად აისახება მზა ჩაის ორგანოლექტიკაზე, არომატზე, გემოზე და განსაკუთრებით, გარეგან სახეზე (შეფერილობაზე). ამასთან დაწვრილმანების დროს ადგილი აქვს ნედლეულის მტვრის დიდი რაოდენობით წარმოქმნას და ნარჩენის რაოდენობის მნიშვნელოვან მომატებას, ანუ პროდუქციის გამოსავლიანობის კოეფიციენტის შემცირებას.

ჩატარებული ღონისძიებების შედეგადაც დადგინდა კავკასიური დეკას ტექნოლოგიური დამუშავების ყველაზე ოპტიმალური მეთოდი, ფოთლის

დამუშავებას ვახდენთ ჯერ ორთქლით, 2-3 წთ-ის განმავლობაში 1,5-2,0 ატმ წნევაზე, ხოლო შემდეგ თბოდაყოვნებით 30-50°C ტემპერატურაზე 4-6 საათის განმავლობაში

დეკას ფოთლებისაგან ჩაის მიღებას ვახდენდით ნახ.1-ზე წარმოდგენილი ტექნოლოგიური ოპერაციებითა და რეჟიმებით.



ნახ.1.კავკასიური დეკასგან „მატეს“ ტიპის ჩაის მიღების ტექნოლოგიური სქემა

განხორციელდა ცნობილი და შემოთავაზებული ხერხებით მიღებული დეკას ჩაის და პარაგვაის ჩაის „მატე“ ორგანოლექტიკური მახასიათებლების შედარებითი ტესტირება. შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.6-ში:

ცხრილი 6. სხვადასხვა ჩაის შედარებითი ორგანოლექტიკური მახასიათებლები

| №                                          | დასახელება                     | კლასიკური „მატე“ <sup>1)</sup> | საქპატენტი U 887 | შემოთავაზებული (მაგალითი 2)                        |
|--------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------------------------|
| მზა პროდუქტის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები |                                |                                |                  |                                                    |
| 1                                          | გემო                           | მწკლარტე                       | ბალახის          | გაჯერებულ<br>ი,<br>სასიამოვნო<br>, მწიფე<br>გოგრის |
| 2                                          | არომატი                        | სუსტი,<br>„კვამლის“            | სუსტი            | ნაზი,<br>ყვავილოვანი                               |
| 3                                          | ნაყენი                         | ოდნავი<br>სიმღვრივით           | მღვრიე           | კრიალა,<br>სპილენძის<br>ფერი                       |
| 4                                          | გარეგანი<br>სახე               | ღია მწვანე                     | „ჭრელი“          | ქარვისფერი                                         |
| 5                                          | გამონახარში<br>ფოთოლი          | ღია<br>„ფირფიტე<br>ბით“        | არაერთგვაროვანი  | მუქი,<br>ხასხასა                                   |
| მზა პროდუქტის ქიმიური მაჩვენებლები         |                                |                                |                  |                                                    |
| 1                                          | ფენოლური<br>ნაერთები,<br>%     | 15,9                           | 13,7             | 18,1                                               |
| 2                                          | ექსტრაქტული<br>ნივთიერებები, % | 30,2                           | 28,6             | 32,4                                               |
| 3                                          | თავისუფალი<br>ამინომჟავები, %  | 17,0                           | 16,7             | 18,8                                               |
| 4                                          | ვიტამინი C, მგ. %              | 8,6                            | 7,9              | 11,0                                               |

<sup>1)</sup>საკონტროლო ნიმუშად გამოვიყენეთ ქ.თბილისის ჩაის მარკეტებში შეძენილი „მატეს“ ჩაი.

დადებითი ეფექტის მიღებას განაპირობებს შემდეგი მდგომარეობა: კავკასიური დეკას ფოთლები შეიცავს ჩაის ტანინების მსგავს მთრიმლავ ნივთიერებებს, ფოთლის ორთქლით დამუშავებისას ადგილი აქვს მუშა აგენტის თავისუფალ შეღწევას უჯრედების უხეშ სტრუქტურაში და ნედლეულის დამჟანგველი ფერმენტების გააქტიურებას, გააქტიურებული ფერმენტები

შემდგომში იწვევენ სუბსტრატის შემადგენელი ფენოლური ნაერთების ღრმა ჟანგვით გარდაქმნებს და გემოსა და არომატის განმსაზღვრელი კოდენსირებული ნაერთების წარმოქმნას.

ორთქლით დამუშავებული ნედლეულის მოცემულ ტემპერატურაზე მოცემული ღროის განმავლობაში თბოდაყოვნებისას ადგილი აქვს ფერმენტაციის პროცესის ინტენსიურ წარმართვას და ფოთლის მწვანე პიგმენტების მაქსიმალურ დაშლას, შედეგად მიიღება მაღალხარისხოვანი ჩაისთვის დამახასიათებელი ერთგვაროვანი ქარვისფერი გარეგანი სახე, კარგად გაჟერებული მწიფე გოგრის გემო, ნაზი ყვავილოვანი არომატი და კრიალა სპილენძისფერი ნაყენი.



სურ N 5 დეკას ჩაის ნახევარფაბრიკატი



სურ N 6 დეკას ჩაის ნაყენი

შემოთავაზებული ტექნოლოგიით მიღებული ჩაის პროდუქტი ორგანოლეპტიკური და ქიმიური მაჩვენებლებით არსებითად განსხვავდება შავი



და მწვანე ჩაისაგან და მნიშვნელოვნად აღემატება როგორც ე.წ. კლასიკურ „მატეს“, ისე დეკას ფოთლებიდან ცნობილი ხერხებით მიღებულ ჩაის.

იგი უზრუნველყოფს მზა პროდუქტის გემურ-არომატული მაჩვენებლებისა და ბიოლოგიური ღირსების არსებით ამაღლებას და ადვილად რეალიზებადია ნებისმიერი მცირე და საშუალო სიმძლავრის საწარმოს პირობებში.

უმნიშვნელოვანესია ის, რომ დეკას ჩაის მიღების შემოთავაზებული ტექნოლოგია პერსპექტივაში შეიძლება გახდეს სუბტროპიკების პირობებში. „მატეს“ ჩაის სანედლეულო ბაზის გაფართოების წინაპირობა.

მიღებული პროდუქტი გარდა პირდაპირი მოხმარებისა დამატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნატურალურ ჩაისთან კუპაჟში, აგრეთვე საკვები კონცენტრატებისა და სასმელების წარმოებაში.

მოკლე დასკვნები:

1. ახალი სახის სასურსათო პროდუქტის („მატე“-ს ტიპის ჩაი) მისაღებად მოხდა არატრადიციული, ბალახოვანი ნედლეულის გამოვლენა - ველური დეკა (*Rhododendron caucasicum* Pall.);
2. „მატეს“ ჩაის მისაღებად ტრადიციულად გამოყენებული ნედლეულის *Ilex Paraguerinsis* St. Hill სტრუქტურულ-მექანიკური მახასიათებლებისა და ბიოლოგიური თვისებების შედარებითი ანალიზით გამოვლინდა ტრადიციული და არატრადიციული ნედლეულის მსგავსება.
3. შემუშავდა ტექნოლოგიური სქემა, მისი გადამუშავების პარამეტრები
4. დადგენილ იქნა დეკას ჩაის ფიზიკურ-ქიმიური და ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები.

### ლიტერატურა—References-Литература

1. Aleksandrova M.S. *Rhododendron natural flora of the USSR*. M: 1975, 112c. (In Russian)
2. Alekseev B.D. *Plant resources of Dagestan*. Makhachkala: 1977. 100p. (In Russian)
3. Gryaznova E.A., Podkolzina L.A. *Materials for the chemical study of rhododendron of the yellow and Caucasian*. -Uchen. Zap. Pyatigorsk Pharmac. Inst., 1957, Vol.2. (In Russian)
4. Gubanov, IA, Krylov, IA, Tikhonov, V.A. *Wild useful plants of the USSR*. M: 1976, 360p. (In Russian)
5. Japaridze L.I., Chrelashvili M.N. *Caucasian rhododendron, as a tannery*. –Message of the Academy of Sciences of the GSSR, 1945, v.6, 2. (in Russian)
6. Dzhaparidze L.I., Chrelashvili M.N. *Losses of tandins during harvesting of the rhododendron new leaf*. –Message of the Academy of Sciences of the GSSR-1945, v.6, 3. (in Russian)
7. Durmishidze SV., Shalashvili A.G., Ushakova M.P. *New sources of bioflavonoids*. –Message of the Academy of Sciences of the GSSR-1960, v.25, 6. (in Russian)
8. Zemlinsky CE. *Medicinal plants of the USSR*. M., 1958, 609p. (In Russian)
9. Zolotnitskaya S.Ya. *Medicinal resources of the flora of Armenia*: In 2 tons. Yerevan, 1958, v.1, 327c: 1965, v.2, 669 p. (In Russian)
10. Kabiev O.K., Balmukhanov SB. *Plant phenols as potentially active antitumor and radiomodifying compounds* // book: *Phenolic compounds. and their phiz.. Properties* Almaty: 1973. (in Russian)
11. Karginova V.T. *Effect of golden rhododendron on physical performance: Author's abstract*. Dis. Cand. Honey. Of science Krasnodar, 1974, 17p (in Russian)
12. Kezeli, T.A., Dzhaparidze, L.I. *Primroses and persimmon, as rich sources of Vitamin C*. // *Works of Tbilisi Botanical Institute*, 1949, v.13. (In Russian)



13. Medicinal plants in scientific and traditional medicine. Ed. 5th Saratov 1978, 359p.  
(in Russian)
14. Mezheninov M. Tanidiferous plants of the North Caucasus and the high use of their leather industry. Vestn. Leather industry and trade. 1929, 6. (in Russian)
15. Toloknova A.Z. The general effect and toxicity of yellow, dahurian and pontic rhododendron. works. Khabarovsk med.in-ta. 1962, vol.23, 1. (in Russian)
16. Turova A.D., Pogorelova E.P., Ovchinnikova A.A. A new heart remedy is rhododenzide. // Farmacology and Toxicology, 1950, Vol. 13, 2. (in Russian)
17. Shalashvili, A.G., Dzishkariani, O.M Content and quantitative change of catechins, leucoanthocyanidins and flavones in different organs of the rhododendron of the Caucasian-Rhododendron caucasicum Pall, during the growing season. In the book: Phenolic compounds and their physiological properties. Alma-Ata, 1973. (in Russian)
18. Shalashvili A.G. Flavonoids of the Caucasian Rhododendron - Rhododendron caucasicum Pall. Report of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, 1967, V.46, 1. (in Russian)
19. Shalashvili A.G. Catechins, leucoanthocyanidins and flavonols of the rhododendrons of the Caucasian and Pontic and their change during the growing season: Author. Dis. Cand. Biol. Of science Tbilisi. 1970.24p. (In Russian)
20. Shalashvili A.G. Investigation of the flavonoid substances of the leaves of the rhododendron Caucasian (Rhododendron caucasicum Pall). In the book: Biochemistry of plants. Tbilisi. 1973. (in Russian)
21. Shalyt M.S. Wild useful plants of the Turkmen USSR. M: 1951, 224p. (In Russian)
21. Shalyt M.S. Wild useful plants of the Turkmen USSR. M: 1951, 224p. (In Russian)
22. Kurten S. et al. Uber Inhaltsstoffe verschiedener Rhododendron-Arten und ihre Kreislaufwirkung // Arch.Pharm.1971, Bd 304, H. 10. (in Germany).
23. Lavie D., Szinai S. The constituent of Ecballium L. J. amer. Chem. Soc. 1958, vol. 80, N3. (In English)
24. Zumalkowski F., Pachaly p., Keller S. Die Bestimmung von Acethylandromedol in Extrakten von Rhododendrom ponticum. Planta med.1969, Jg. 17, H. 1. (in Germany).
25. <https://agronomu.com/bok/6591-rododendron-kavkazskiy-poleznye-svoystva-i-protivopokazaniya-primenenie-v-narodnoy-medicine.html>
26. Melkadze R, Kereselidze O., Rhododendron leaves (Rhododendron caucasicum Pall.) And "Mate" / Journal of Biology and Life science, (USA), v.1, # 1, 2010, pp.1-10 (in english)
27. R. Melkadze. Tea substitute production method. Patent of Georgia Utility model #GE 887 U, class A 23 F 3/34, Bulletin # 3, 2002 (in Georgian)
28. R. Melkadze, V. Fomenko. "The method of production of tea substitute". USSR patent 1828573, 24.04.1991 (in Russian).

# DIGITAL TRANSFORMATION OF METROLOGICAL SUPPORT IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: CURRENT STATE, PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

**Kazangeldina Zhanna Bakhytzhanova**

L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Tangatar Assel Maksatkyzy**

L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Yesserkenov Akbolat Bekbolatuly**

L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

In the era of Industry 4.0, metrology is evolving from a traditional discipline into a digital ecosystem, where accurate real-time measurements underpin smart manufacturing, environmental monitoring, healthcare, and public administration. The digital transformation of metrological activities ensures traceability of measurement results, reduces human involvement, and enhances the transparency and efficiency of procedures. In the Republic of Kazakhstan, this transition is embedded in the national digital transformation agenda and aims to strengthen economic competitiveness, protect consumer rights, and support integration within the Eurasian Economic Union (EAEU).

The purpose of this study is to provide a comprehensive assessment of the current state of digital metrology in Kazakhstan, identify key problems, and outline forward-looking development pathways. The research focuses on the country's metrological infrastructure, with particular attention to its digitalization through the state information system "e-KTRM". The methodology is based on the analysis of regulatory frameworks, statistical data from official sources, and a comparative review of international practices.

Digital metrology involves the application of technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), cloud computing, blockchain, and machine-readable data to automate verification, calibration, and monitoring processes for measuring instruments. According to guidelines issued by the International Organization of Legal Metrology (OIML) and the International Bureau of Weights and Measures (BIPM), its core components include digital certificates with QR codes, remote verification procedures, automated traceability from national standards to working instruments, and integration with enterprise management systems.

Global experience shows that digital transformation can reduce the duration of metrological procedures by five to ten times, while improving measurement accuracy and lowering corruption risks. In Kazakhstan, the development of digital metrology is aligned with the principles of the CIPM MRA (Mutual Recognition Arrangement), which ensures international recognition of national measurement standards and results in more than 100 countries.

As of April 2026, the digitalization of metrology in Kazakhstan has progressed from a pilot phase to full-scale operational deployment. The state information system "e-KTRM" (techreg.gov.kz) integrates modules for metrology, accreditation, standardization, and conformity

assessment into a unified digital platform. It includes functionalities such as an electronic register of the State System for Ensuring the Unity of Measurements (SSUM RK), records of verification and calibration of measuring instruments, certification of measurement procedures, and type approval of measuring instruments. Certificates are issued in digital format with QR codes, providing instant access for all stakeholders.

The “e-KTRM” system currently supports 1,634 accredited entities, 9,415 national standards, and 26,684 interstate standards (Figure 1).

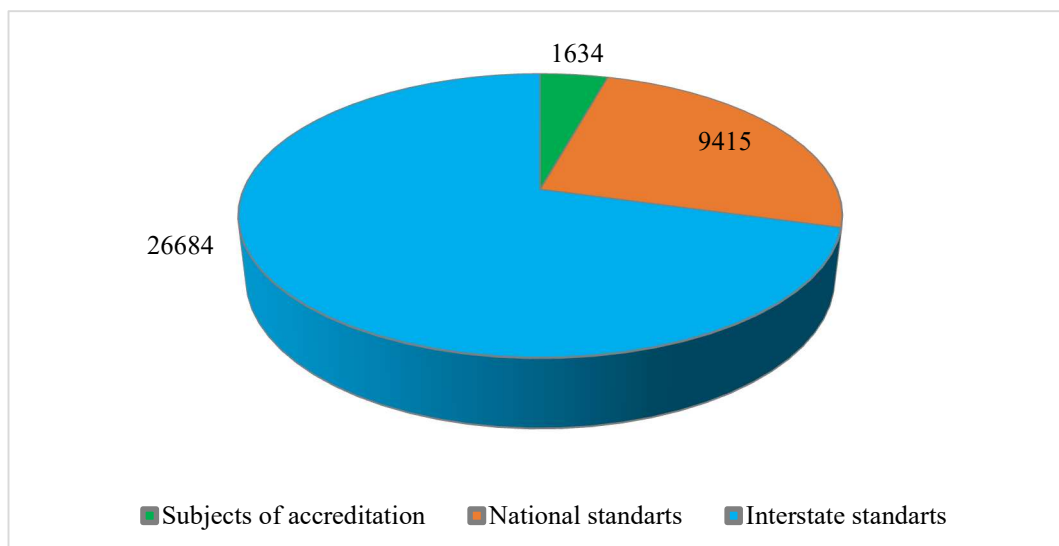


Figure 1. Key indicators of the state information system “e-KTRM” (as of April 2026)

Additional indicators of the metrological infrastructure include 104 national measurement standards, 20,153 approved types of measuring instruments, and 47 active technical regulations of the EAEU (Figure 2). Integration with the Eurasian Economic Union has enabled the implementation of a “single window” system for document processing. Significant progress has been achieved in process digitalization: verification records are now fully automated, electronic laboratory passports have been introduced, and risk management modules have been implemented [1].

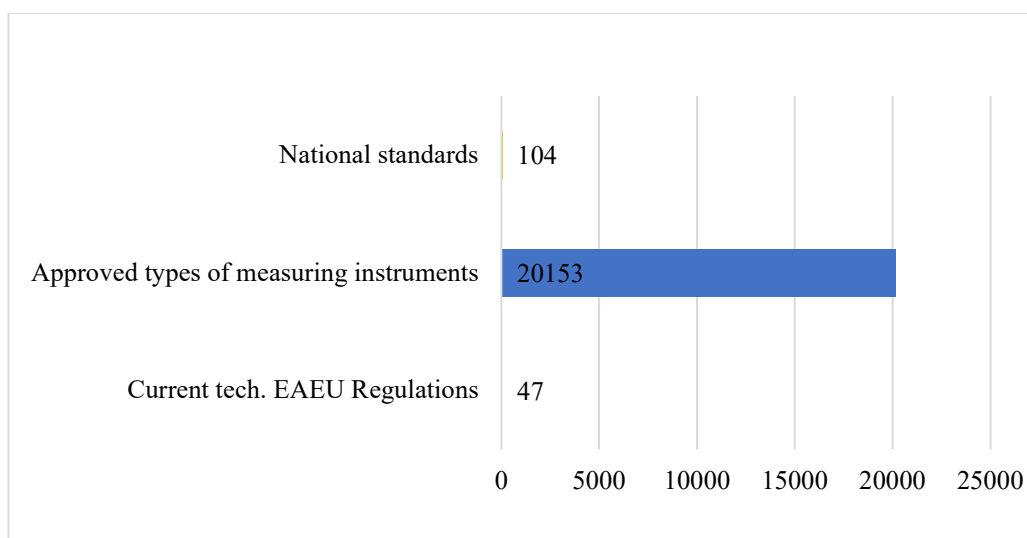


Figure 2. Additional indicators of the metrological infrastructure of “e-KTRM”

A significant role in the digital transformation of the metrological and regulatory infrastructure is played by the development of electronic platforms for standards distribution, such as KSM Shop. This system functions as a unified digital repository of regulatory documents, providing access to standards in electronic format.

The use of such platforms substantially reduces paper-based workflows, improves access to the regulatory framework, and ensures that the standards in use remain up to date. This is particularly important in the context of the continuous revision of technical regulations and standards.

According to statistical data, in 2025 users downloaded 27,737 ST RK standards, with the level of their practical application exceeding 70%. These figures indicate a strong demand for digital solutions and a gradual shift toward electronic formats in handling regulatory documentation [2].

Overall, digitalization in the field of metrology extends beyond verification and record-keeping of measuring instruments to include the regulatory support system, thereby forming an integrated digital ecosystem.

Despite the progress achieved, the digital transformation of metrological support is accompanied by several systemic challenges.

One of the key issues is the technological gap associated with the presence of outdated measurement standards and instruments that lack digital interfaces. This limits the possibilities for automated data exchange and integration with modern information systems.

Cybersecurity issues are of critical importance in this context. As digitalization advances, the risk of unauthorized access to metrological data and its manipulation increases. Ensuring information security requires the implementation of advanced cryptographic solutions and compliance with national standards, such as ST RK 1073-2025 “Cryptographic Information Protection Tools,” aimed at strengthening the security of digital systems [3].

Another major challenge is the shortage of qualified personnel. The transition to digital metrology demands a new type of specialist-socalled “digital metrologists” – who possess competencies in data analysis, programming, and information systems. Insufficient training and a lack of such professionals slow down the adoption of innovative solutions.

The human factor also remains a relevant issue. On the one hand, digitalization reduces the likelihood of errors associated with manual data processing; on the other hand, it increases the requirements for the qualifications of specialists responsible for configuring and maintaining digital systems.

Further development of metrological support in the Republic of Kazakhstan is closely linked to the adoption of advanced digital technologies and the creation of an intelligent measurement management infrastructure.

One of the most promising directions is the implementation of SMART standards – machine-readable regulatory documents that can be automatically interpreted by measuring equipment. This approach will minimize human involvement and enhance the accuracy and consistency of measurement procedures.

The development of digital passports for measuring instruments is of particular importance. These function as digital twins of devices, containing comprehensive information about their entire lifecycle, including verification, calibration, and maintenance records. Such an approach ensures a high level of data traceability and reliability.

Another promising area is the advancement of remote verification (remote metrology), based on cloud technologies and the Internet of Things. This enables real-time monitoring of the condition of measuring instruments, reducing operational costs and improving the speed of decision-making.

The implementation of these directions aligns with the national digital transformation policy outlined in the Concept for the Development of Digital Technologies for 2023-2029, which aims to establish an integrated digital ecosystem [4].

Overall, digitalization of metrological support in the Republic of Kazakhstan is currently at an active stage of development. To date, the transition from paper-based workflows to electronic systems for record-keeping and control has been successfully accomplished, resulting in greater transparency and efficiency of metrological services.

At the same time, several challenges remain, including outdated equipment, cybersecurity concerns, and a shortage of qualified personnel.

In the long term, the development of digital metrology will focus on the implementation of intelligent data management systems, the creation of digital twins of measuring instruments, and the expansion of remote verification methods.

Thus, the transition to digital metrology contributes to the establishment of “digital trust,” which is a key factor for sustainable economic development and Kazakhstan’s integration into the global technological landscape.

### References

1. Information System «e-KTRM». Official portal. URL: <https://techreg.gov.kz/>
1. 2.KazStandart. Performance Result for 2025. 01.02.2026. URL: <https://www.ksm.kz/ru/press/news/kazstandart-podvel-itogi-raboty-za-2025-god/>
2. ST RK 1073-2025 «Cryptographic Information Security Tools»
3. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan № 269 dated March 28, 2023 «On Approval of the Concept for Digital Transformation, Development of the Information and Communication Technology Sector, and Cybersecurity for 2023 - 2029».

# АСА МАҢЫЗДЫ ИНФРАҚҰРЫЛЫМДАРДАҒЫ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ DLP ЖҮЙЕСІНІҢ АРХИТЕКТУРАСЫ МЕН ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Seitkali Gaziz Talgatuly

Farabi University, Almaty, Kazakhstan, 2<sup>nd</sup> year PhD student, 8B06301-Information Security Systems

**Аңдатпа** Мақалада энергетика, көлік және телекоммуникация сияқты аса маңызды ақпараттық инфрақұрылымдардағы (АМАИ) құпия деректердің ағып кетуін болдырмауға арналған жаңа буын Data Loss Prevention (DLP) жүйесін әзірлеу мәселелері қарастырылады. Дәстүрлі DLP жүйелерінің негізгі шектеуі – контекстік талдаудың төмендігі және жалған позитивті (False Positive) іске қосылулардың жоғары деңгейі. Зерттеу барысында дәстүрлі тұрақты өрнектер (Regex) мен заманауи машиналық оқыту (ML), соның ішінде табиғи тілді өңдеу (NLP) алгоритмдерін біріктіретін гибриді модель ұсынылды. Эксперименттік тестілеу нәтижелері ұсынылған модельдің анықтау дәлдігін 76.0%-дан 94.5%-ға дейін арттырып, жалған дабылдар санын 4 есеге азайтқанын көрсетті. Аталмыш шешім қауіпсіздік операциялық орталықтарындағы (SOC) аналитиктердің жүктемесін азайтуға және нақты уақыт режиміндегі қорғанысты күшейтуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** ақпараттық қауіпсіздік, DLP, машиналық оқыту, NLP, аса маңызды инфрақұрылым, SCADA, деректердің ағып кетуі, жалған дабылдар.

## 1. Кіріспе

Цифрландырудың қарқынды дамуы аса маңызды ақпараттық инфрақұрылымдардың (АМАИ) тиімділігін арттырғанымен, олардың киберқауіптерге осалдығын күшейтті. Өндірісті басқарудың автоматтандырылған жүйелерінде (SCADA/ICS) және корпоративтік желілерде коммерциялық құпиялардың, қызметкерлердің жеке деректерінің және стратегиялық конфигурациялардың ағып кетуі үлкен экономикалық және ұлттық қауіпсіздік зардаптарына әкелуі мүмкін.

Қазіргі уақытта корпоративтік ортада қолданылатын Data Loss Prevention (DLP) жүйелері негізінен тұрақты өрнектерге (Regular Expressions – Regex) және кілт сөздерді іздеуге негізделген. Мұндай тәсіл стандартты форматтағы деректерді (мысалы, несие картасының нөмірлері, ЖСН) анықтауда тиімді болғанымен, құрылымдалмаған деректерді немесе инсайдерлер тарапынан қасақана парафразаланған (модификацияланған) мәтіндерді тануда дәрменсіздік танытады. Сонымен қатар, дәстүрлі жүйелер «жалған оң» (False Positive) дабылдарды өте көп жасайды, ақпараттық қауіпсіздік мамандарының (SOC) назарын нақты қатерлерден ауытқытады («alert fatigue» феномені).

Осыған байланысты, зерттеудің мақсаты – мәтіннің мағыналық семантикасын түсінетін табиғи тілді өңдеу (NLP) алгоритмдері мен ережелерге негізделген сүзгілеуді біріктіретін гибриді DLP архитектурасын әзірлеу және оның тиімділігін эксперименттік ортада бағалау.

## 2. Әдебиеттерге шолу

Соңғы жылдары DLP жүйелерін интеллектуалдандыру бағытында көптеген ғылыми ізденістер жүргізілуде. E. Costante және т.б. (2023) өздерінің шолу мақаласында машиналық оқытудың деректердің ағып кетуін болдырмаудағы рөлін атап өтіп, терең оқыту (Deep Learning) модельдерінің дәстүрлі классификаторлардан (SVM, Random Forest) асып түсетінін көрсетті.

Сонымен қатар, T. Bakhshi мен B. Ghita (2022) аса маңызды инфрақұрылымдардағы инсайдерлік қауіптерді анықтау үшін гибриді шешімдердің қажеттілігін негіздеген. Олардың зерттеуінде таза ML-ге негізделген жүйелердің есептеу ресурстарын көп қажет ететіні, сондықтан оларды дәстүрлі қолтаңбалық (signature-based) әдістермен біріктіру ең оңтайлы шешім екендігі айтылады. Аталмыш зерттеу аталған ғылыми бағытты жалғастыра отырып, SCADA жүйелерінің трафигіне бейімделген жаңа гибриді алгоритмді ұсынады.

## 3. Зерттеу әдіснамасы және жүйе архитектурасы

Ұсынылып отырған DLP жүйесінің архитектурасы Python 3.12 бағдарламалау ортасында жасалды және екі деңгейлі талдау механизміне негізделген.

# Интеллектуалды DLP жүйесінің архитектурасы



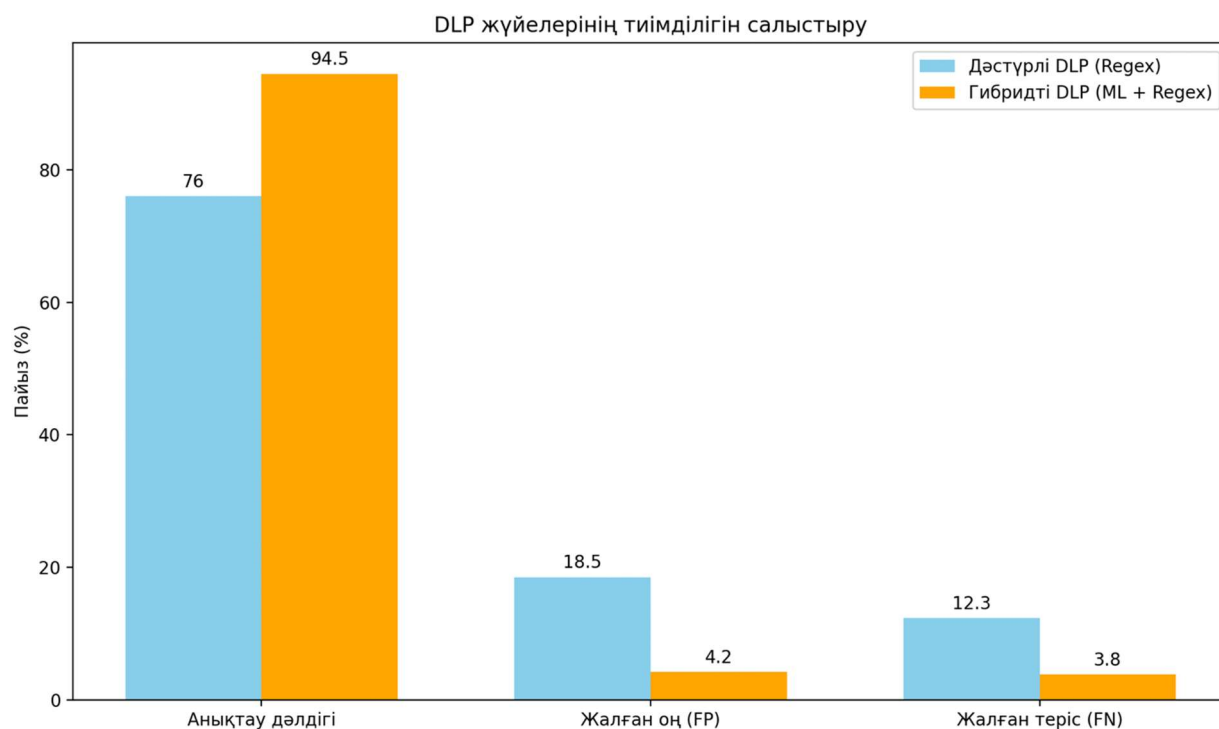
Сурет 1. Интеллектуалды DLP жүйесінің архитектурасы



### 3.1. Гибриді талдау алгоритмі

1. **Бірінші деңгей (Жеңілдетілген сүзгілеу - Regex/YARA):** Желілік трафик (SMTP, HTTP/HTTPS) немесе алмасу буфері (clipboard) арқылы өтетін ақпарат алдымен тұрақты өрнектер базасынан өтеді. Егер деректер ішінде нақты стандартталған құпия мәліметтер болса, жүйе оны бірден бұғаттайды. Процессорлық ресурстарды (CPU/RAM) үнемдеуге мүмкіндік береді.

2. **Екінші деңгей (Семантикалық талдау - NLP):** Бірінші деңгейден өткен, бірақ құрылымы күрделі немесе күдікті мәтіндік деректер нейрожелілік талдауға жіберіледі. Осы мақсатта Hugging Face платформасындағы Transformer архитектурасына негізделген **DistilBERT** моделі қолданылды. Модель корпоративтік және өндірістік құжаттардың (келісімшарттар, техникалық тапсырмалар, конфигурациялық логтар) арнайы жиынтығында алдын ала оқытылған (fine-tuned).



Сурет 2. DLP жүйелерінің тиімділігін өзара салыстыру

**3.2. Эксперименттік орта (Testbed) және Деректер жиынтығы** Есептеу эксперименті оқшауланған зертханалық желіде жүргізілді. Тесттік ортада 4 жұмыс станциясы мен 1 сервер эмуляцияланды. Модельді тексеру үшін 10 000 желілік транзакциядан тұратын датасет (dataset) жасалды. Оның құрамына:

- Қалыпты корпоративтік хат-хабарлар мен өндірістік трафик (50%);
- Құпия ақпаратты тікелей жіберу әрекеттері (20%);
- Парафразаланған, сөздері өзгертілген немесе мағынасы жасырылған құпия құжаттар (15%);
- Жалған дабыл тудыруға бейім «жалған-құпия» (мысалы, тесттік нөмірлер) құжаттар (15%) кірді.



Сурет 3. Экспериментте қолданылған транзакциялар құрылымы(көлемі)

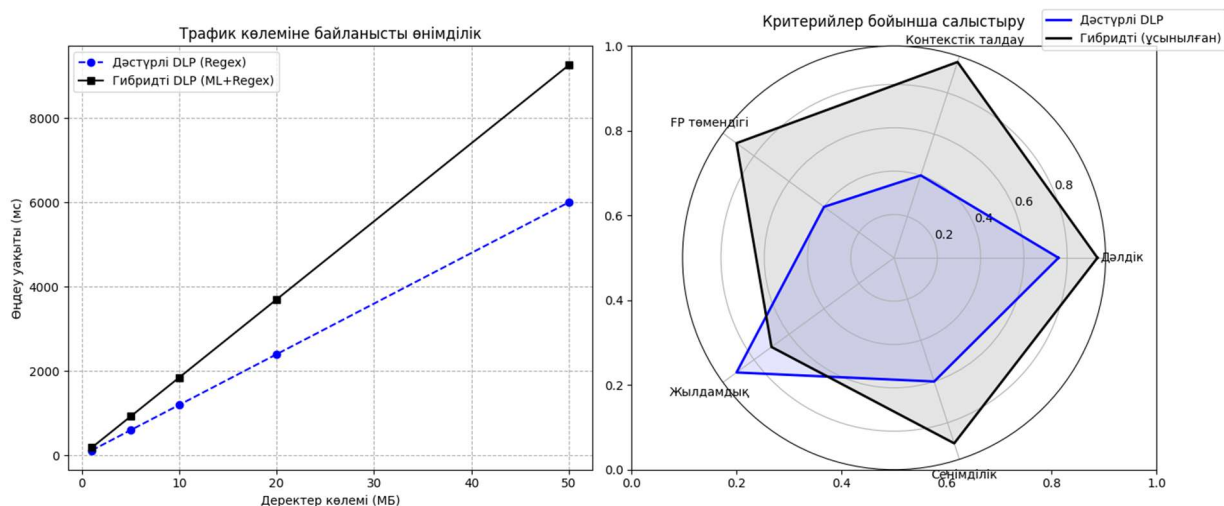
#### 4. Зерттеу нәтижелері

Әзірленген гибриді модельдің тиімділігі дәстүрлі (тек Regex-ке негізделген) жүйемен салыстырылды. Эксперименттің негізгі нәтижелері 1-кестеде ұсынылған.

Кесте 1. Дәстүрлі және гибриді DLP жүйелерінің салыстырмалы көрсеткіштері

| Бағалау критерийлері                  | Дәстүрлі DLP (Тек Regex) | Гибриді DLP (ML + Regex) | Нәтиженің өзгеруі |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| Анықтау дәлдігі (Accuracy)            | 76.0%                    | 94.5%                    | +18.5% артты      |
| Жалған оң (False Positive) деңгейі    | 18.5%                    | 4.2%                     | ~4 есе төмендеді  |
| Жалған теріс (False Negative) деңгейі | 12.3%                    | 3.8%                     | 3 есе төмендеді   |
| Орташа өңдеу уақыты (1 МБ үшін)       | 120 мс                   | 185 мс                   | +65 мс ұлғайды    |

Алынған деректер машиналық оқытудың арқасында анықтау дәлдігінің айтарлықтай өскенін көрсетеді. Жалған позитивті нәтижелердің 18.5%-дан 4.2%-ға дейін төмендеуі қауіпсіздік қызметкерлерінің жұмысын жеңілдетіп, жүйенің сенімділігін арттырады. Өңдеу уақытының 65 миллисекундқа артуы АМАИ желілерінің өткізу қабілеті үшін сыни болып табылмайды.



Сурет 4. Зерттеу нәтижелері

**Нәтижелерді талдау:**

- Дәлдіктің артуы:** DistilBERT алгоритмдерін қосу арқылы жүйенің жалпы дәлдігі 18.5%-ға артты. Модель қасақана өзгертілген сөйлемдердің өзінен корпоративтік құпияның мағынасын тани алды.
- Жалған дабылдардың (False Positive) төмендеуі:** Дәстүрлі жүйеде жалған дабылдар 18.5%-ды құраса, гибридті модельде көрсеткіш 4.2%-ға дейін түсті. Яғни, қалыпты құжаттарды қате бұғаттау фактілері күрт азайды.
- Жүйелік кідіріс:** Нейрожеліні қолдану есептеу қуатын талап ететіндіктен, трафикті өңдеу уақыты 120-дан 185 миллисекундқа өсті. Дегенмен, кідіріс SCADA жүйелерінің көпшілік қауіпсіздік стандарттары үшін (мысалы, NIST SP 800-53) рұқсат етілген шектерде орналасқан.

**5. Талқылау**

Алынған нәтижелер киберқауіпсіздікті қамтамасыз етуде машиналық оқытудың зор әлеуетін көрсетеді. Жалған дабылдарды 4 есеге азайту (18.5%-дан 4.2%-ға) – Қауіпсіздік операциялық орталықтары (SOC) үшін өте маңызды жетістік. Аналитиктерге қауіпсіз емес трафикті қолмен тексеруге кететін уақытты үнемдеп, нақты шабуылдар мен инсайдерлік әрекеттерге назар аударуға мүмкіндік береді. Алайда, өңдеу уақытының сәл артуы (overhead) гибридті тәсілді аса жоғары жылдамдықты өндірістік процестерде (мысалы, нақты уақыттық телеметрия) қолдану кезінде қосымша оңтайландыруды талап етеді.

**6. Қорытынды**

Зерттеу барысында аса маңызды инфрақұрылымдарды қорғауға бағытталған интеллектуалды DLP жүйесі әзірленіп, сынақтан өткізілді. Дәстүрлі ережелер мен табиғи тілді өңдеу алгоритмдерін біріктіру деректердің жасырын ағып кетуін анықтау дәлдігін едәуір арттырып (94.5%), жүйенің сенімділігін жаңа деңгейге көтерді. Алдағы уақытта есептеу кідірістерін азайту мақсатында жүйені шеткі есептеулер (Edge Computing) технологияларымен біріктіру және жеңілдірек ML модельдерін сынау жоспарлануда.

### Әдебиеттер тізімі

1. Al-Awadi, M., & Al-Qurishi, M. (2022). An intelligent data loss prevention system using natural language processing. *Future Generation Computer Systems*, 125, 120-132.
2. Bakhshi, T., & Ghita, B. (2022). Securing critical infrastructure against insider threats using hybrid DLP frameworks. *Journal of Information Security and Applications*, 64, 103073.
3. Costante, E., et al. (2023). Machine learning for data loss prevention: A survey. *Computers & Security*, 112, 102529.
4. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*.
5. Homoliak, I., et al. (2019). Insight into insiders and IT: A survey of insider threat taxonomies, analysis, modeling, and countermeasures. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(2), 1-40.
6. Kovanen, T., & Vähäkainu, P. (2022). Data Loss Prevention System Implementation in a SCADA Environment. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 38, 100543.
7. Liu, X., et al. (2021). Data Loss Prevention based on Deep Learning for Text Classification in Corporate Networks. *IEEE Access*, 9, 11245-11256.
8. National Institute of Standards and Technology. (2020). NIST SP 800-53 Rev. 5: Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations.
9. Shabtai, A., Elovici, Y., & Rokach, L. (2012). A survey of data leakage free zones. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 42(4), 513-523.
10. Қазақстан Республикасының «Ақпараттандыру туралы» Заңы (2015 жылғы 24 қарашадағы № 418-V ҚРЗ, 2024 жылғы соңғы өзгертулермен)

УДК 004.415.532:378.147

# ПРИНЦИП НАМЕРЕННОЙ ДЕФЕКТНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ УЧЕБНЫХ СРЕД ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

**Шингизов Азамат Айбекович**

магистрант, Высшая школа информационных технологий, Университет «Туран» (г. Алматы, Республика Казахстан)

Научный руководитель:

**Ауелбеков О. А.**

к. ф.-м. н., профессор, Высшая школа информационных технологий, Университет «Туран» (г. Алматы, Республика Казахстан)

**Аннотация.** В статье формулируется и обосновывается принцип намеренной дефектности как ключевой проектный принцип учебных сред для подготовки специалистов по автоматизированному тестированию. На основе анализа ограничений существующих тренировочных ресурсов представлены результаты эмпирической апробации модели тренировочного полигона с двумя намеренно заложенными дефектами на выборке из 23 студентов Университета «Туран». В экспериментальной группе доля участников, самостоятельно выявивших дефект, составила 75%; в контрольной группе аналогичный показатель оказался равен нулю.

**Ключевые слова:** автоматизированное тестирование, тренировочный полигон, намеренная дефектность, REST API, QA-инженер, педагогический эксперимент.

## **Введение**

Подготовка квалифицированных специалистов в области автоматизированного тестирования относится к числу острых кадровых проблем IT-индустрии. По данным аналитических платформ за 2024 год, более 73% вакансий уровня Junior Automation QA содержат требование о наличии практического опыта от шести месяцев, при этом доля стажировок не превышает 12% [1, с. 14]. Одним из направлений преодоления данного барьера является создание тренировочных сред — программных систем, намеренно спроектированных для предоставления обучающемуся методически структурированного набора сценариев [2, с. 8]. Однако существующие в открытом доступе ресурсы (Swagger Petstore, JSONPlaceholder, ReqRes, OWASP WebGoat) обладают ограничениями, среди которых отсутствие задокументированных аномалий поведения занимает особое место.

Цель статьи — сформулировать и эмпирически валидировать принцип намеренной дефектности как фундаментальный проектный принцип учебных сред. Под намеренной дефектностью понимается осознанное включение в учебную среду функциональных областей с заранее задокументированными отклонениями от ожидаемого поведения, обнаружение которых составляет учебную ценность работы со средой.

## **1. Обоснование принципа намеренной дефектности**

Анализ методической литературы позволяет выделить две проблемные области существующих учебных сред [3, с. 122]. Первая — отсутствие обратной связи: написание

автотестов к штатно функционирующему сайту не формирует понимания того, что и зачем следует проверять. Вторая — отсутствие когнитивного замыкания: «зелёный» статус теста может означать как корректную работу системы, так и недостаточную глубину проверки.

Принцип намеренной дефектности предполагает осознанное проектирование среды с включением заранее задокументированных отклонений, удовлетворяющих трём критериям [4, с. 56]. Во-первых, дефект должен быть обнаружимым только через корректно написанный автотест. Во-вторых, дефект должен быть реалистичным — соответствовать классам ошибок реальных производственных систем: отрицательная цена, отрицательный остаток, нарушение ссылочной целостности [5, с. 91]. В-третьих, дефект должен быть задокументирован в материалах преподавателя, но скрыт от обучающегося. Эта совокупность критериев отличает принцип от концепции «уязвимых приложений» (OWASP WebGoat): уязвимость направлена на эксплуатацию злоумышленником, тогда как намеренный дефект — на обнаружение тестировщиком и проверку навыков верификации качества [6].

## 2. Сравнительный анализ учебных сред

В таблице 1 представлен анализ учебных ресурсов по критерию наличия намеренных дефектов.

Таблица 1. Сравнительный анализ учебных сред автотестирования

| Учебная среда        | Намеренные дефекты | Документирование | Реалистичность     |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Swagger Petstore     | Отсутствуют        | Не предусмотрено | Средняя            |
| JSONPlaceholder      | Отсутствуют        | Не предусмотрено | Низкая             |
| ReqRes               | Отсутствуют        | Не предусмотрено | Низкая             |
| OWASP WebGoat        | Только уязвимости  | Документированы  | Высокая (security) |
| Предлагаемый полигон | Два функциональных | Полностью        | Высокая            |

Из таблицы видно, что среди распространённых сред намеренная дефектность реализуется только в контексте уязвимостей безопасности (WebGoat). Применительно к функциональному тестированию данный принцип в настоящее время не реализован ни одной из проанализированных систем.

## 3. Описание модели полигона и методика апробации

Модель тренировочного полигона представляет собой REST API-сервис на Python с использованием фреймворка Flask [7, с. 142]. Полигон содержит четыре домена («Пользователи», «Категории», «Товары», «Заказы») и служебные эндпоинты проверки доступности и сброса состояния. Встроены два намеренных дефекта: при создании товара с отрицательной ценой система возвращает 201 вместо ожидаемого 422; PATCH-запрос с отрицательным остатком на складе также принимается без ошибки. Оба дефекта задокументированы в материалах преподавателя, но не отражены в OpenAPI-спецификации. Апробация проведена в Университете «Туран» в весеннем семестре 2024–2025 учебного года в рамках дисциплины «Тестирование программного обеспечения». В эксперименте приняли участие 23 студента магистратуры, разделённые на экспериментальную (n=12, работа с полигоном) и контрольную (n=11, работа с JSONPlaceholder) группы методом стратифицированной случайной выборки с учётом исходного уровня владения Python. Задание формулировалось идентично: написать автотесты, верифицирующие корректность API, включая проверку обработки отрицательных значений.

#### 4. Результаты апробации

Таблица 2. Сравнительные результаты экспериментальной и контрольной групп

| Показатель                           | Эксп. (n=12) | Контр. (n=11) | Разница    |
|--------------------------------------|--------------|---------------|------------|
| Выявили намеренный дефект            | 75,0%        | 0,0%          | +75,0 п.п. |
| Реализовали многошаговый тест        | 83,3%        | 45,5%         | +37,8 п.п. |
| Использовали фикстуру setup/teardown | 66,7%        | 27,3%         | +39,4 п.п. |
| Самооценка готовности (10-балл.)     | 7,4          | 5,8           | +1,6       |
| Среднее число корректных тестов      | 11,2         | 7,8           | +3,4       |

Наиболее показательным является различие в обнаружении намеренного дефекта: 75% участников экспериментальной группы зафиксировали аномалию валидации отрицательной цены, тогда как в контрольной группе данный показатель составил ноль — JSONPlaceholder дефектов не содержит. Существенно, что преимущество экспериментальной группы наблюдалось не только в показателе, прямо связанном с дефектом, но и в других показателях. Это допускает следующую интерпретацию: работа со средой, содержащей реальные аномалии, формирует у обучающегося иную когнитивную позицию — позицию активного исследователя, а не пассивного верификатора предсказуемого поведения. Полученный результат согласуется с положениями теории учебной деятельности, согласно которой обнаружение «противоречий» в учебном материале является ключевым механизмом формирования профессиональных компетенций [8, с. 178].

#### Заключение

Принцип намеренной дефектности представляет собой самостоятельный проектный принцип учебных сред для подготовки специалистов по автоматизированному тестированию, занимающий собственную методическую нишу между концепциями «штатно функционирующего» API и «уязвимого приложения». Эмпирическая апробация на выборке из 23 студентов магистратуры подтвердила существенное преимущество модели полигона с намеренными дефектами над контрольной средой по всем измеряемым показателям. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением экспериментальной выборки, проведением апробации на образовательных платформах других вузов Республики Казахстан и анализом долгосрочной эффективности обучения.



**Литература:**

1. HeadHunter Analytics. Обзор рынка труда в IT: QA-инженеры и специалисты по тестированию. — М.: hh.ru, 2024. — 34 с.
2. Bach, J. Rapid Software Testing: A Course for Testers. — Satisfice Press, 2023. — 286 с.
3. Myers, G. J. The Art of Software Testing / G. J. Myers, T. Badgett, C. Sandler. — 3-е изд. — Hoboken: Wiley, 2011. — 240 с.
4. Kaner, C. Lessons Learned in Software Testing / C. Kaner, J. Bach, B. Pettichord. — New York: Wiley, 2001. — 288 с.
5. Whittaker, J. A. Exploratory Software Testing. — Upper Saddle River: Addison-Wesley, 2009. — 230 с.
6. OWASP Foundation. OWASP WebGoat Project. — URL: <https://owasp.org/www-project-webgoat/> (дата обращения: 14.04.2025).
7. Grinberg, M. Flask Web Development. — 2-е изд. — Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. — 312 с.
8. Давыдов, В. В. Теория развивающего обучения. — М.: ИНТОР, 1996. — 544 с.

# Müəssisənin informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsində müasir texnologiyaların rolu

**Nahid Hüseynli Natiq oğlu**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

**Əsgərova Bahar**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Dövlət İdarəçilik Akademiyası

**Açar sözlər:** **İnformasiya təhlükəsizliyi, müasir texnologiyalar, kibertəhlükəsizlik, müəssisə idarəetməsi, rəqəmsal risklər**

Müasir iqtisadi münasibətlər sistemində müəssisənin dayanıqlı fəaliyyəti yalnız istehsal gücü, maliyyə resursları və bazar mövqeyi ilə müəyyən olunmur. İdarəetmə proseslərinin rəqəmsallaşması, məlumat axınlarının sürətlənməsi və biznes əməliyyatlarının informasiya sistemləri üzərindən həyata keçirilməsi informasiya təhlükəsizliyini müəssisə idarəçiliyinin strateji istiqamətlərindən birinə çevirmişdir. Müəssisə daxilində formalaşan kommersiya sirri, maliyyə hesabatları, müqavilələr, müştəri bazaları, texnoloji sənədlər, kadr məlumatları və əməliyyat qeydləri yalnız informativ resurs deyil, eyni zamanda iqtisadi dəyər daşıyan aktivlərdir. Həmin aktivlərin icazəsiz əldə olunması, dəyişdirilməsi, silinməsi və ya ifşası müəssisənin rəqəbat üstünlüyünü zəiflədərək onun reputasiyasına, hüquqi vəziyyətinə və maliyyə sabitliyinə ciddi təsir göstərir. Məhz buna görə informasiya təhlükəsizliyi məsələsi texniki səviyyədə həll olunan yardımçı funksiya kimi deyil, korporativ idarəetmənin mərkəzi elementlərindən biri kimi nəzərdən keçirilməlidir.

İnformasiya təhlükəsizliyi ənənəvi yanaşmada məlumatın məxfiliyinin, bütövlüyünün və əlçatanlığının qorunması ilə izah edilir. Lakin müəssisə mühitində həmin üç komponent daha geniş mənə kəsb edir və risklərin idarə olunması, uyğunluğun təmin edilməsi, iş proseslərinin fasiləsizliyi, rəqəmsal etimadın qorunması, tərəfdaşlarla təhlükəsiz informasiya mübadiləsinin təşkili kimi istiqamətləri də əhatə edir. İnformasiyanın məxfiliyi kommersiya sirrinin və şəxsi məlumatların icazəsiz tərəflərə ötürülməsinin qarşısını alır. Bütövlük göstəricisi hesabatların, müqavilələrin və əməliyyat qeydlərinin saxtalaşdırılmadan qorunmasını tələb edir. Əlçatanlıq isə müəssisə fəaliyyətinin kritik mərhələlərində sistem və məlumat resurslarına vaxtında çıxış imkanını saxlayır. Rəqəmsal transformasiyanın sürətlənməsi ilə yanaşı, təhlükə mənbələrinin çoxalması, hücum üsullarının mürəkkəbləşməsi və daxili risk faktorlarının güclənməsi ənənəvi müdafiə vasitələrinin təkbaşına kifayət etmədiyini göstərmişdir. Həmin şəraitdə müasir texnologiyalar informasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsində həlledici rola malik olur.

Müasir texnologiyaların rolu hər şeydən əvvəl təhlükəsizlik sistemlərinin passiv müdafiə məntiqindən aktiv və intellektual müdafiə modelinə keçidində aydın görünür. Əvvəlki mərhələdə müəssisələr əsasən antivirus proqramları, giriş parolları və lokal şəbəkə məhdudiyyətləri ilə kifayətlənirdilər. Hazırkı şəraitdə kibertəhlükələr dinamik xarakter daşıyır, hücumçular sosial mühəndislik, zərərli proqram təminatı, fişinq, xidmətin dayandırılması hücumları, fidyə proqramları, bulud infrastrukturunun zəiflikləri və təchizat zənciri üzərindən sızmalar kimi müxtəlif üsullardan istifadə edirlər. Həmin mühitdə informasiya təhlükəsizliyi yalnız müdafiə divarlarının qurulması ilə deyil, hadisələrin real vaxt rejimində izlənməsi, davranış nümunələrinin təhlili, risklərin qabaqlayıcı şəkildə aşkarlanması və cavab mexanizmlərinin avtomatlaşdırılması ilə təmin olunur. Müasir texnologiyalar məhz həmin ehtiyaclara cavab verir.

Şəbəkə təhlükəsizliyi həlləri müəssisə informasiya mühitinin qorunmasında əsas texnoloji dayaqlardan biri hesab edilir. Firewall sistemləri, müdaxilənin aşkarlanması və qarşısının alınması mexanizmləri, təhlükəsiz şəbəkə şlüzləri və segmentləşdirmə vasitələri müəssisənin daxili və xarici trafikini nəzarətdə saxlayır. Şəbəkənin funksional hissələrə bölünməsi hər hansı insident baş verdikdə onun bütün infrastruktura yayılmasının qarşısını alır. Məsələn, maliyyə şöbəsinin istifadə etdiyi sistemlərlə istehsalat proseslərini idarə edən platformaların eyni şəbəkə məkanında qorunmasız şəkildə fəaliyyət göstərməsi risk səviyyəsini artırır. Müasir şəbəkə təhlükəsizliyi texnologiyaları isə fərqli resurslar arasında məhdudlaşdırılmış və qayda əsaslı əlaqə yaradaraq hücum səthini daraldır. Həmin yanaşma xüsusilə böyük həcmli məlumat dövriyyəsinə malik müəssisələrdə daha yüksək səmərəlilik göstərir.

Müəssisələrdə identifikasiya və autentifikasiya texnologiyalarının inkişafı da informasiya təhlükəsizliyinin keyfiyyətini ciddi şəkildə yüksəltmişdir. Sadə parol mexanizmləri artıq etibarlı vasitə hesab edilmir, çünki parolların təkrar istifadəsi, zəif kombinasiyalar və fişinq hücumları sistemlərə icazəsiz giriş riskini artırır. Çoxfaktorlu autentifikasiya, biometrik həllər, aparat tokenləri və adaptiv giriş nəzarəti həmin zəifliyin aradan qaldırılmasına xidmət edir. İstifadəçi identikliyinə yalnız parolla deyil, əlavə təsdiq faktoru ilə yoxlanılması komprometasiya ehtimalını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Adaptiv autentifikasiya isə istifadəçinin coğrafi mövqeyi, cihaz növü, giriş vaxtı və davranış xüsusiyyətləri əsasında risk qiymətləndirilməsi aparır və şübhəli aktivlik müşahidə edildikdə əlavə təhlükəsizlik addımları tələb edir. Həmin texnologiyalar müəssisə daxilində hüquqların daha dəqiq bölgüsünə və səlahiyyət prinsipinin qorunmasına imkan yaradır.

Məlumatların şifrələnməsi müasir informasiya təhlükəsizliyi sistemlərinin ayrılmaz hissəsidir. Şifrələmə texnologiyaları məlumatların həm saxlanma, həm də ötürülmə mərhələsində icazəsiz oxunmasının qarşısını alır. Müəssisə serverlərində, əməkdaş kompüterlərində, mobil cihazlarda və bulud platformalarında yerləşən həssas məlumatların açıq formada saxlanması yüksək risk yaradır. Güclü kriptografik alqoritmlərin tətbiqi, açarların təhlükəsiz idarə olunması və sertifikat əsaslı əlaqələrin qurulması məlumatın məxfiliyini təmin edən əsas mexanizmlərdir. Xüsusilə elektron ticarət, bankçılıq, sığorta, logistika və səhiyyə ilə işləyən müəssisələr üçün şifrələmə yalnız texniki seçim deyil, həm də hüquqi və etik öhdəlikdir. Məlumat ötürülməsi kanallarında şifrələmənin tətbiqi tərəfdaşlar, filiallar və uzaqdan çalışan əməkdaşlar arasında təhlükəsiz kommunikasiya mühiti formalaşdırır.

Bulud texnologiyalarının geniş tətbiqi müəssisələrin informasiya təhlükəsizliyi yanaşmasını ciddi şəkildə dəyişdirmişdir. Bulud əsaslı infrastruktur çeviklik, ölçüləbilənlik və xərclərin optimallaşdırılması baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər təqdim edir. Lakin məlumatların üçüncü tərəf platformalarında saxlanması, çoxistifadəçili mühit, uzaqdan giriş imkanları və xidmət təminatçısından asılılıq yeni təhlükəsizlik tələbləri yaradır. Həmin şəraitdə bulud təhlükəsizliyi texnologiyaları xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Məlumatların şifrələnməsi, giriş hüquqlarının mərkəzləşdirilmiş idarə olunması, bulud konfigurasiyalarının avtomatik monitorinqi, təhlükəsizlik siyasətlərinin vahid paneldən tətbiqi və ehtiyat nüsxələmə mexanizmləri bulud mühitində risklərin minimumlaşdırılmasına xidmət edir. Müəssisə yalnız xidmət təminatçısının təhlükəsizlik tədbirlərinə güvənməklə kifayətlənməməli, paylaşılan məsuliyyət modelinə uyğun olaraq öz nəzarət mexanizmlərini də qurmalıdır.

Süni intellekt və maşın öyrənməsi əsasında işləyən təhlükəsizlik həlləri kibertəhlükələrin aşkarlanmasında yeni mərhələ formalaşdırmışdır. Ənənəvi sistemlər məlum imzalar və əvvəlcədən müəyyən edilmiş qaydalar əsasında fəaliyyət göstərirdi halda, intellektual analitika platformaları normal istifadə davranışını öyrənir və ondan kənara çıxan fəaliyyətləri avtomatik aşkar edir. Şəbəkədə adi gündəlik trafikdən kəskin fərqlənən məlumat ötürülməsi, qısa müddətdə çoxsaylı uğursuz giriş cəhdləri, qeyri-adi saatlarda kritik sistemlərə müraciətlər və istifadəçi davranışında qəfil dəyişikliklər həmin texnologiyalar vasitəsilə operativ aşkarlanır. Bu yanaşma xüsusilə sıfır gün zəiflikləri və imza bazasında olmayan hücumlar üçün mühüm üstünlük yaradır.

Müəssisə təhlükəsizlik mərkəzlərində süni intellekt əsaslı sistemlərin tətbiqi insidentlərin cavab müddətini qısaldır, analitik yükü azaldır və qərar qəbulunu daha əsaslı edir.

Təhlükəsizlik informasiyası və hadisələrin idarə olunması sistemləri, başqa sözlə SIEM platformaları, müxtəlif mənbələrdən gələn jurnal qeydlərini, şəbəkə məlumatlarını, tətbiq loglarını və təhlükəsizlik xəbərdarlıqlarını vahid mühitdə birləşdirərək təhlil etməyə imkan verir. Müasir müəssisədə serverlər, istifadəçi cihazları, bulud xidmətləri, poçt sistemləri, giriş nəzarəti vasitələri və sənaye avadanlıqları paralel şəkildə fəaliyyət göstərdiyi üçün təhlükəsizlik hadisələrinin ayrılmaqda izlənməsi səmərəli nəticə vermir. SIEM texnologiyası müxtəlif komponentlər arasındakı əlaqələri üzə çıxarır, korrelyasiya qaydaları vasitəsilə insident ehtimalını yüksəldən ardıcılıqları müəyyən edir və cavab tədbirlərinin hazırlanmasına şərait yaradır. Təhlükəsizlik əməliyyat mərkəzlərində həmin platformalardan istifadə müəssisənin görünürsüzlüyünü artırır və kor nöqtələrin sayını azaldır.

SOAR həlləri, yəni təhlükəsizlik orkestrasiya, avtomatlaşdırma və cavab platformaları, informasiya təhlükəsizliyində insan əməyinin ən çox vaxt aparan hissələrini avtomatik icra etməyə imkan verir. Təhlükəsizlik komandası hər gün minlərlə signal və xəbərdarlıqla qarşılaşdıqda onların əl ilə emalı əməliyyat ləngiməsinə səbəb olur. Avtomatlaşdırılmış ssenarilər şübhəli IP ünvanının bloklanması, zərərli faylın təcrid edilməsi, riskli istifadəçi sessiyasının dayandırılması, əməkdaşın hesabının müvəqqəti bağlanması və aidiyyəti şöbələrə xəbərdarlığın göndərilməsi kimi addımları qısa zaman ərzində reallaşdırır. Həmin mexanizm yalnız operativliyi artırır, eyni zamanda cavab tədbirlərində standartlaşmanı təmin edir və insan səhvi riskini azaldır.

Müasir texnologiyaların rolu son nöqtə təhlükəsizliyi sahəsində də aydın nəzərə çarpır. Əvvəllər müəssisə informasiya sistemlərinin əsas hissəsi ofis daxilində yerləşən masaüstü kompüterlərlə məhdudlaşır. İndi isə əməkdaşlar noutbuklar, smartfonlar, planşetlər və uzaq bağlantı vasitələri üzərindən korporativ resurslara çıxış əldə edirlər. Hər bir cihaz potensial giriş nöqtəsi hesab olunduğundan endpoint detection and response tipli həllər xüsusi əhəmiyyət qazanmışdır. Həmin sistemlər cihaz səviyyəsində şübhəli prosesləri izləyir, zərərli fəaliyyət nümunələrini aşkar edir, fayl dəyişikliklərini qeydə alır və təhlükə müşahidə edildikdə təcrid etmə mexanizmini işə salır. Uzaqdan iş modelinin yayılması fonunda son nöqtə təhlükəsizliyinin zəif təşkili ümumi korporativ müdafiə sistemində ciddi boşluq yaradır.

Ehtiyat nüsxələmə və fəlakətdən bərpa texnologiyaları informasiya təhlükəsizliyinin yalnız məxfilik və müdafiə tərəfini deyil, davamlılıq komponentini də əhatə edir. Fidyə proqramları, avadanlıq nasazlıqları, insan səhvləri və təbii fəlakətlər səbəbindən məlumat itkisi baş verdikdə müəssisənin fəaliyyətinin hansı müddətdə bərpa olunacağı onun hazırlıq səviyyəsindən asılı olur. Müasir backup həlləri məlumatların versiyalanmasını, coğrafi baxımdan ayrılmış mühitdə saxlanmasını, dəyişdirilə bilməyən nüsxələrin yaradılmasını və sürətli bərpa imkanlarını təmin edir. Həmin texnologiyalar müəssisəyə yalnız məlumatı qorumaq imkanı vermir, həm də əməliyyatların dayanmadan davam etməsi üçün etibarlı zəmin yaradır. Xüsusilə istehsalat, logistika, maliyyə və elektron xidmət sahələrində fasiləsizliyin qorunması iqtisadi itkilərin miqyasını birbaşa müəyyən edir.

Müasir müəssisələrdə məlumat sızmasının qarşısını alan DLP sistemləri ayrıca diqqət tələb edir. Daxili istifadəçilər tərəfindən təsadüfi və ya məqsədli şəkildə məlumatların xaricə çıxarılması bir çox hallarda xarici kiberhücumlar qədər təhlükəli olur. DLP texnologiyaları elektron poçt, bulud yaddaşları, daşınan daşıyıcılar, çap qurğuları və messenger kanalları vasitəsilə həssas məlumat dövriyyəsini izləyir. Maliyyə hesabatlarının, şəxsiyyət məlumatlarının, müqavilə sənədlərinin və texniki layihələrin müəssisə siyasətinə zidd formada paylaşılması aşkarlananda sistem xəbərdarlıq yaradır və ya əməliyyatı bloklayır. Həmin nəzarət mexanizmi informasiya aktivlərinin idarə olunmasına struktur verir və insan faktorundan doğan riskləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Sıfır etibar modeli müasir informasiya təhlükəsizliyi konsepsiyasının ən mühüm istiqamətlərindən biri kimi müəssisə mühitində geniş yayılmışdır. Ənənəvi təhlükəsizlik

yanaşmasında daxili şəbəkə etibarlı, xarici mühit isə riskli hesab edilirdi. Rəqəmsal transformasiya, mobil iş rejimi, bulud xidmətləri və çoxsaylı integrasiyalar həmin sərhədləri faktiki olaraq aradan qaldırmışdır. Sıfır etibar yanaşması istifadəçi, cihaz və tətbiqin mənşəyindən asılı olmayaraq hər giriş sorğusunun ayrıca yoxlanılmasını tələb edir. Minimum səlahiyyət prinsipi, davamlı autentifikasiya, mikrosegmentasiya və kontekst əsaslı nəzarət həmin modelin əsas elementlərini təşkil edir. Müəssisə üçün həmin yanaşmanın üstünlüyü ondan ibarətdir ki, sistem daxilində yerləşən hesab və cihazlar da potensial risk mənbəyi kimi qiymətləndirilir və nəzarət mexanizmləri hər mərhələdə işləyir.

Blokçeyn texnologiyası da müəyyən sahələrdə informasiya təhlükəsizliyinin gücləndirilməsi baxımından praktik əhəmiyyət daşıyır. Xüsusilə sənəd dövriyyəsinin dəyişdirilməz qeydlərlə izlənməsi, təchizat zəncirində əməliyyatların şəffaflığının artırılması, rəqəmsal identikliyin qorunması və audit izlərinin etibarlılığının saxlanılması üçün blokçeyn əsaslı həllər istifadə olunur. Mərkəzləşdirilməmiş qeyd mexanizmi məlumatların sonradan izsiz dəyişdirilməsini çətinləşdirir və saxtalaşdırma riskini azaldır. Həmin texnologiya bütün müəssisələr üçün universal vasitə sayılmasa da, yüksək etibarlılıq və qeydlərin bütövlüyü tələb olunan proseslərdə səmərəli tətbiq imkanı təqdim edir.

İnformasiya təhlükəsizliyində texnologiyanın səmərəli rolu onun korporativ idarəetmə ilə uyğunlaşdırılması dərəcəsindən asılıdır. Texnoloji həllərin alınması təhlükəsizlik səviyyəsinin avtomatik yüksəlməsi anlamına gəlmir. Müəssisə əvvəlcə informasiya aktivlərini təsnifləşdirməli, kritik sistemləri müəyyənləşdirməli, risk iştahasını formalaşdırmalı və təhlükəsizlik siyasətlərini təşkilati struktura uyğun şəkildə qurmalıdır. Hər bir texnologiya konkret riskə cavab verməli, tətbiq sahəsi və funksional sərhədi aydın təyin edilməlidir. Əks halda çoxsaylı alətlərin mövcudluğu idarəetmədə parçalanma yaradır, insidentlərin təhlilini çətinləşdirir və xərclərin səmərəliliyini azaldır. Strategiyanı ilə texnologiya arasında əlaqənin düzgün qurulması müəssisənin təhlükəsizlik yetkinliyini müəyyən edən əsas şərtlərdəndir.

İnsan faktoru informasiya təhlükəsizliyinin ən zəif həlqələrindən biri olaraq qalır və müasir texnologiyalar həmin istiqamətdə də dəstəkləyici rol oynayır. Əməkdaşların fişinq məktublarını tanınamaması, zəif parollardan istifadə etməsi, həssas sənədləri qorunmayan kanallarla paylaşması və təhlükəsizlik siyasətlərinə əməl etməməsi bir çox insidentin başlanğıc nöqtəsinə çevrilir. Təlim platformaları, simulyasiya alətləri, davranış analitikası və istifadəçi fəaliyyətinin monitorinqi vasitələri riskli davranışın erkən mərhələdə müəyyənləşdirilməsinə kömək edir. Texnologiya burada nəzarət və maarifləndirmə funksiyalarını birləşdirərək təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşmasını dəstəkləyir. Yalnız texniki müdafiə qurmaq kifayət etmir, çünki təhlükəsizliyin real dayanıqlığı institusional vərdişlər və gündəlik davranış qaydaları ilə möhkəmlənir.

Tənzimləyici tələblər və standartlar da müasir texnologiyaların tətbiqini stimullaşdıran amillər sırasındadır. Şəxsi məlumatların qorunması, maliyyə əməliyyatlarının təhlükəsizliyi, audit izlərinin saxlanılması və sektoral uyğunluq qaydaları müəssisələrdən daha şəffaf və sübut edilə bilən təhlükəsizlik mexanizmləri tələb edir. ISO 27001 kimi idarəetmə standartları, məlumatların qorunmasına dair milli və beynəlxalq normativ cərgivələr, habelə sahəvi tənzimləmələr müəssisənin yalnız siyasət sənədlərinə deyil, praktik texnoloji infrastrukturaya da malik olmasını zəruri edir. Logların saxlanılması, girişlərin qeydiyyatı, məlumat dövriyyəsinin izlənməsi, insidentlərin sənədləşdirilməsi və ehtiyat nüsxə siyasəti kimi tələblər müasir texnologiyalar olmadan dayanıqlı şəkildə icra edilə bilmir.

Müəssisənin informasiya təhlükəsizliyi sistemində müasir texnologiyalar iqtisadi səmərəlilik baxımından da mühüm əhəmiyyət daşıyır. Kibertəhlükəsizlik tədbirlərinə ayrılan xərclər bəzən əlavə yük kimi qiymətləndirilsə də, məlumat sızmasının, əməliyyatların dayanmasının, hüquqi sanksiyaların və reputasiya itkisinin yaratdığı zərər daha yüksək olur. Təhlükəsizlik investisiyalarının qiymətləndirilməsi yalnız texniki baxımdan deyil, riskin maliyyə ekvivalenti əsasında aparılmalıdır. Avtomatlaşdırılmış nəzarət, erkən aşkarlama, sürətli bərpa və təhlükə səthinin azaldılması

müəssisəyə birbaşa və dolayı xərclərin azalması şəklində fayda verir. Xüsusilə rəqəmsal xidmətlərdən asılılığı yüksək olan biznes modellərində təhlükəsizlik xərci faktiki olaraq biznesin davamlılıq investisiyası kimi çıxış edir.

Azərbaycan şəraitində fəaliyyət göstərən müəssisələr üçün informasiya təhlükəsizliyi məsələsi xüsusi aktuallıq daşıyır. Rəqəmsal ödənişlərin genişlənməsi, elektron sənəd dövriyyəsinin artması, dövlət xidmətləri ilə inteqrasiyanın güclənməsi və sahibkarlıq subyektlərində idarəetmə sistemlərinin rəqəmsallaşması təhlükəsizlik tələblərini daha sərt etmişdir. Yerli müəssisələrdə bəzən texnoloji modernləşmə sürətlə aparılsa da, təhlükəsizlik arxitekturasının paralel şəkildə yenilənməsi geridə qalır. Həmin disbalans infrastrukturun zəif nöqtələrini artırır. Effektiv model üçün rəhbərlik səviyyəsində kibertəhlükəsizlik prioritet kimi qəbul edilməli, informasiya aktivlərinin xəritələnməsi aparılmalı, risk əsaslı texnologiya seçimi edilməli və davamlı monitoring sistemi qurulmalıdır.

Müasir texnologiyaların informasiya təhlükəsizliyində rolu yalnız hücumların qarşısını almaqla məhdudlaşmır. Onlar müəssisədə etimad mühitinin formalaşmasına, tərəfdaşlarla münasibətlərin möhkəmlənməsinə, müştəri məlumatlarının qorunmasına, rəqəmsal xidmət keyfiyyətinin sabit saxlanılmasına və idarəetmə qərarlarının daha etibarlı informasiya bazasına söykənməsinə xidmət edir. Təhlükəsizlik burada müstəqil texniki funksiya deyil, korporativ dayanıqlığın və rəqabət qabiliyyətinin struktur komponentinə çevrilir. Rəqəmsal iqtisadiyyatda informasiyanın dəyəri artdıqca onun qorunmasına xidmət edən texnologiyaların strateji çəkisi də artır. Müəssisə həmin reallığı nəzərə alaraq təhlükəsizliyi yalnız müdafiə vasitəsi kimi deyil, inkişaf və sabitlik üçün zəruri idarəetmə resursu kimi qəbul etməlidir.

### **Ədəbiyyat**

- 1.Ahmed M., Mahmood A. N., Hu J. "A survey of network anomaly detection techniques" // "Journal of Network and Computer Applications", 2016, 60, 19–31 p.
- 2.Aljohani M., Abualkishik A. Z. "A comprehensive review of explainable AI in cybersecurity" // "Array", 2025, 26, 100391 p.
- 3.Almohri H. M. J., Watson L. T., Yao D., Ou X. "Security and Privacy of Sensitive Data in Cloud Computing: A Survey of Recent Developments" // "ACM Computing Surveys", 2017, 51(4), 1–36 p.
- 4.Cremer F., Sheehan B., Fortmann M., Kia A. N., Mullins M., Murphy F., Materne S. "Cyber risk and cybersecurity: a systematic review of data availability" // "The Geneva Papers on Risk and Insurance- Issues and Practice", 2022, 47(3), 698–736 p.
- 5.Humayun M., Niazi M., Jhanjhi N., Alshayeb M. "Cyber Security Threats and Vulnerabilities: A Systematic Mapping Study" // "Arabian Journal for Science and Engineering", 2020, 45(4), 3171–3189 p.
- 6.Kure H. I., Islam S., Razzaque M. A. "An Integrated Cyber Security Risk Management Approach for a Cyber-Physical System" // "Applied Sciences", 2018, 8(6), 898 p.
- 7.Von Solms R., Van Niekerk J. "From information security to cyber security" // "Computers & Security", 2013, 38, 97–102 p.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

**Джусупова Д. Б.**

доктор биологических наук, профессор, Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

**Армидинова Ю.Н.**

студентка 4 курса специальности «Экология», Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

Размещение твердых бытовых отходов на полигонах является одним из наиболее распространенных способов обращения с отходами. Несмотря на относительную простоту и экономическую доступность данного метода, эксплуатация полигонов сопровождается значительным воздействием на окружающую среду. В процессе накопления отходов происходят физические, химические и биологические процессы их трансформации, которые приводят к образованию различных загрязняющих веществ. Эти вещества способны распространяться в окружающей среде и оказывать негативное влияние на её основные компоненты [1].

В процессе хранения и разложения твердых бытовых отходов происходит образование различных продуктов распада, среди которых наибольшее экологическое значение имеют фильтрат и свалочный газ. Фильтрат образуется при проникновении атмосферных осадков через массу отходов и представляет собой жидкость сложного химического состава, содержащую органические соединения, аммонийные соединения и тяжелые металлы. Распространение фильтрата за пределы полигона может приводить к загрязнению почвенного покрова и водных ресурсов.

В результате функционирования полигонов твердых бытовых отходов воздействию подвергаются различные компоненты окружающей среды. Наиболее уязвимыми среди них являются почвенный покров и водные ресурсы, поскольку именно через эти компоненты происходит накопление и дальнейшая миграция загрязняющих веществ. Загрязнение почвы и воды может приводить к нарушению природных процессов, снижению биологической активности почв и ухудшению качества водных ресурсов [2].

## Воздействие полигонов твердых бытовых отходов на почвенный покров

Одним из наиболее уязвимых компонентов окружающей среды при размещении твердых бытовых отходов является *почвенный покров*. В процессе эксплуатации полигонов происходит постепенное накопление различных загрязняющих веществ в верхних горизонтах почвы. Основной причиной загрязнения является проникновение фильтрата, образующегося в результате взаимодействия атмосферных осадков с массой отходов. Фильтрат содержит растворенные органические вещества, аммонийные соединения, а также тяжелые металлы, которые способны мигрировать в почвенной среде и накапливаться в ней.

Загрязнение почв вблизи полигонов твердых бытовых отходов может приводить к изменению их физических и химических свойств. Повышенные концентрации тяжелых металлов, таких как свинец, кадмий, медь и цинк, оказывают негативное воздействие на



почвенные микроорганизмы и снижают биологическую активность почвы. Это приводит к ухудшению структуры почвенного покрова и нарушению естественных процессов почвообразования.

Таблица 1 — Основные загрязняющие вещества почвы вблизи полигонов ТБО

| Загрязняющее вещество                | Основные источники              | Экологические последствия загрязнения                                            |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Свинец (Pb)                          | батарейки, электроника, краски  | токсичность для растений и микроорганизмов, нарушение роста растений             |
| Кадмий (Cd)                          | аккумуляторы, пластмассы        | накопление в почве и растениях, высокая токсичность                              |
| Медь (Cu)                            | металлические изделия, провода  | нарушение биологических процессов в почве, токсичность при высоких концентрациях |
| Цинк (Zn)                            | оцинкованные материалы, металл  | изменение химического состава почвы, угнетение микроорганизмов                   |
| Ртуть (Hg)                           | лампы, батарейки                | высокая токсичность, накопление в живых организмах                               |
| Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ )          | разложение органических отходов | изменение азотного баланса почвы, загрязнение воды                               |
| Нитраты ( $\text{NO}_3^-$ )          | разложение отходов, фильтрат    | вымывание в грунтовые воды, эвтрофикация                                         |
| Органические соединения              | пищевые отходы, бытовая химия   | образование токсичных продуктов разложения, ухудшение свойств почвы              |
| Нефтепродукты                        | пластик, бытовые отходы         | токсичность, загрязнение почвы и воды                                            |
| ПАВ (поверхностно-активные вещества) | моющие средства                 | нарушение структуры почвы, токсичность для организмов                            |

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что вблизи полигонов твердых бытовых отходов в почвенном покрове могут накапливаться различные загрязняющие вещества, среди которых особое значение имеют тяжелые металлы. Наиболее опасными считаются свинец и кадмий, поскольку данные элементы обладают высокой токсичностью и способны длительное время сохраняться в почве. Их накопление может приводить к нарушению биологических процессов в почве и снижению её плодородия.

Кроме тяжелых металлов, в почвах могут накапливаться органические соединения, образующиеся в процессе разложения бытовых отходов. Такие соединения способны изменять химический состав почвы и оказывать негативное воздействие на растительность и почвенные микроорганизмы. В результате длительного воздействия загрязняющих веществ происходит ухудшение экологического состояния почвенного покрова на территориях, прилегающих к полигонам твердых бытовых отходов.

Помимо накопления тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ, в почвенном покрове вблизи полигонов твердых бытовых отходов могут происходить изменения физических и химических свойств почвы. Загрязнение почв сопровождается нарушением структуры почвенного горизонта, снижением активности почвенных микроорганизмов и ухудшением условий для развития растительности. В результате этого

могут изменяться процессы почвообразования и снижаться экологическая устойчивость почвенных экосистем.

Распространение загрязняющих веществ в почвенном покрове происходит постепенно и может охватывать территории, прилегающие к полигонам твердых бытовых отходов. Скорость таких процессов зависит от природных условий местности, включая тип почвы, рельеф территории и уровень увлажнения. При наличии благоприятных условий загрязняющие вещества могут мигрировать в более глубокие почвенные горизонты и распространяться на значительные расстояния от источника загрязнения [3].

Кроме того, накопление токсичных соединений в почве может приводить к их поступлению в растения, произрастающие на прилегающих территориях. Это создаёт потенциальную угрозу для экосистем и может оказывать негативное воздействие на сельскохозяйственные угодья, расположенные вблизи полигонов твердых бытовых отходов.

Уровень загрязнения почвенного покрова в районах размещения полигонов твердых бытовых отходов зависит от ряда природных и техногенных факторов. Одним из наиболее значимых факторов является морфологический состав отходов, определяющий интенсивность процессов разложения и образование фильтрата. Чем выше доля органических компонентов в составе отходов, тем активнее происходят биохимические процессы, сопровождающиеся образованием загрязняющих веществ [4].

Значительное влияние на степень загрязнения почвы оказывает продолжительность эксплуатации полигона. При длительном функционировании полигона происходит постепенное накопление загрязняющих веществ в почвенном покрове, что может приводить к их миграции в более глубокие горизонты почвы. В результате увеличивается площадь загрязнённых территорий, прилегающих к полигону твердых бытовых отходов.

Немаловажную роль играют и природные условия территории, включая тип почвы, рельеф местности и количество атмосферных осадков. В условиях повышенной влажности происходит более интенсивное образование фильтрата и ускоряется процесс миграции загрязняющих веществ в почвенной среде [5].

Таблица 2 — Основные факторы, влияющие на загрязнение почв вблизи полигонов ТБО

| Фактор                         | Характер влияния                                                     |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Морфологический состав отходов | влияет на интенсивность процессов разложения и образование фильтрата |
| Срок эксплуатации полигона     | длительная эксплуатация способствует накоплению загрязняющих веществ |
| Количество атмосферных осадков | увеличивает образование фильтрата и миграцию загрязнений             |
| Тип почвы                      | определяет скорость проникновения загрязняющих веществ               |
| Рельеф территории              | влияет на направление распространения фильтрата                      |

Анализ факторов, влияющих на загрязнение почвенного покрова вблизи полигонов твердых бытовых отходов, показывает, что степень экологической нагрузки определяется совокупностью природных и антропогенных условий. Одним из ключевых факторов является

морфологический состав отходов, который определяет интенсивность процессов их разложения и образование фильтрата.

Существенное значение имеет также срок эксплуатации полигона. По мере увеличения времени функционирования объекта происходит постепенное накопление загрязняющих веществ в почве, что может приводить к расширению зоны загрязнения на прилегающих территориях.

Также, важную роль играют природные особенности местности, включая тип почвы, рельеф территории и количество атмосферных осадков. Эти факторы оказывают непосредственное влияние на скорость миграции загрязняющих веществ и глубину их проникновения в почвенные горизонты, что в конечном итоге определяет уровень экологического состояния почвенного покрова.

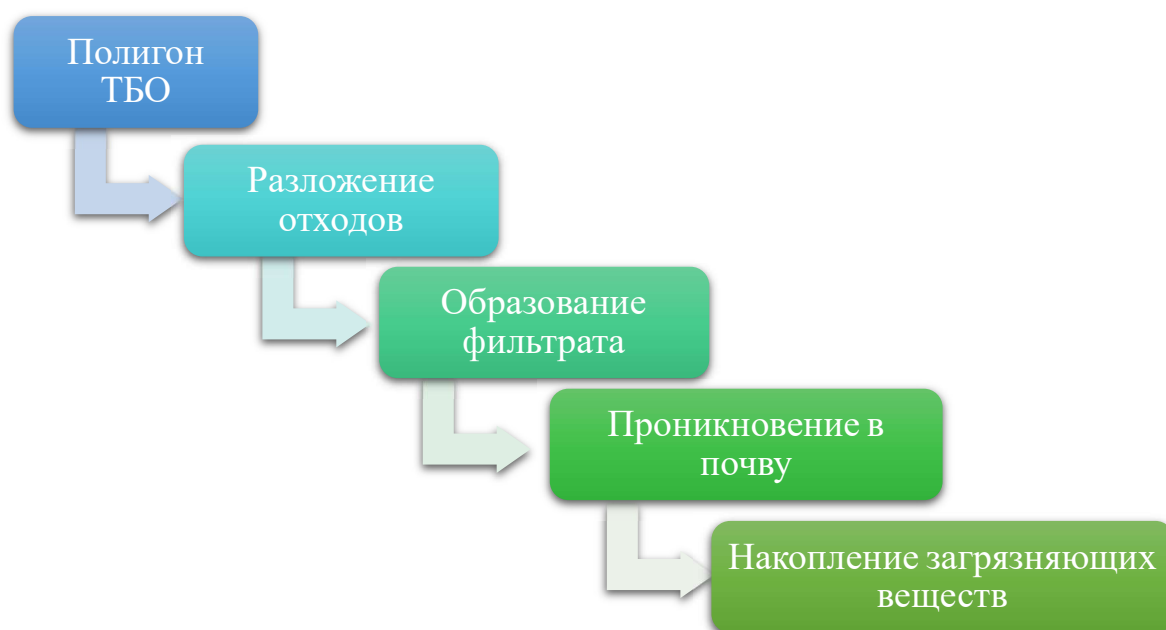


Рисунок 1 — Схема поступления загрязняющих веществ из полигона ТБО в почвенный покров

Представленная схема отражает механизм поступления загрязняющих веществ из полигона твердых бытовых отходов в почвенный покров. В процессе разложения отходов образуется фильтрат, содержащий различные химические соединения, включая органические вещества, аммонийный азот и тяжелые металлы. При отсутствии эффективной системы изоляции фильтрат способен просачиваться через тело полигона и проникать в почвенные горизонты.

В результате происходит постепенное накопление загрязняющих веществ в почве, что может приводить к ухудшению её экологического состояния и нарушению природных процессов почвообразования. Длительное воздействие загрязняющих веществ способствует снижению биологической активности почв и может вызывать деградацию почвенного покрова на прилегающих территориях.

Загрязнение почвенного покрова вблизи полигонов твердых бытовых отходов представляет собой одну из наиболее серьёзных экологических проблем. В ряде исследований отмечается, что концентрации тяжёлых металлов в почвах, расположенных вблизи полигонов, могут значительно превышать фоновые значения. Накопление таких веществ приводит к ухудшению экологического состояния почв, снижению их плодородия и нарушению функционирования почвенных экосистем.

Можно сделать вывод что, размещение твердых бытовых отходов на полигонах оказывает значительное воздействие на почвенный покров прилегающих территорий. В процессе разложения отходов образуются различные загрязняющие вещества, которые могут поступать в почву вместе с фильтратом и накапливаться в её верхних горизонтах. Это приводит к изменению физических и химических свойств почвы, снижению биологической активности и нарушению естественных процессов почвообразования. Длительное воздействие загрязняющих веществ может вызывать деградацию почвенного покрова и ухудшение экологического состояния территорий, расположенных вблизи полигонов твердых бытовых отходов.

### **Воздействие полигонов твердых бытовых отходов на водные ресурсы**

Помимо загрязнения почвенного покрова, размещение твердых бытовых отходов на полигонах оказывает значительное воздействие на *водные ресурсы*. В процессе разложения отходов образуется фильтрат — жидкость сложного химического состава, формирующаяся при проникновении атмосферных осадков через массу отходов. Фильтрат может содержать растворённые органические вещества, соединения азота, соли и тяжёлые металлы. Попадание данных веществ в водную среду приводит к ухудшению качества воды и может оказывать негативное воздействие на водные экосистемы [6].

Загрязнение водных ресурсов в районах размещения полигонов твердых бытовых отходов может происходить различными путями. Одним из наиболее распространённых механизмов является инфильтрация фильтрата через почвенный покров и геологические слои, в результате чего загрязняющие вещества способны проникать в подземные водоносные горизонты и распространяться на значительные расстояния от источника загрязнения.

Загрязнению могут подвергаться и *поверхностные водные объекты*, расположенные вблизи полигонов твердых бытовых отходов. В период атмосферных осадков загрязняющие вещества, содержащиеся в фильтрате, могут переноситься поверхностным стоком и попадать в близлежащие реки, ручьи и озёра. Это приводит к изменению химического состава воды, ухудшению её экологического состояния и нарушению условий обитания водных организмов. Основные компоненты фильтрата полигонов твердых бытовых отходов представлены на рисунке 2 [7].



Рисунок 2 — Основные компоненты фильтрата полигонов твердых бытовых отходов

Схема отражает основные группы загрязняющих веществ, входящих в состав фильтрата полигонов твердых бытовых отходов. Каждая из представленных групп соединений обладает определёнными экологическими особенностями и может оказывать различное воздействие на компоненты окружающей среды.

Соединения азота являются одной из наиболее распространённых групп загрязняющих веществ фильтрата. В основном они представлены аммонийными соединениями ( $\text{NH}_4^+$ ) и нитратами ( $\text{NO}_3^-$ ), образующимися в процессе разложения органических компонентов отходов. Попадание соединений азота в водные объекты может приводить к развитию процессов эвтрофикации, сопровождающихся интенсивным ростом водорослей и снижением содержания растворённого кислорода в воде.

Тяжёлые металлы также относятся к наиболее опасным компонентам фильтрата полигонов. В составе бытовых отходов они могут поступать из батареек, аккумуляторов, электроники и различных металлических изделий. К числу наиболее распространённых тяжёлых металлов относятся свинец (Pb), кадмий (Cd), медь (Cu) и цинк (Zn). Данные элементы обладают высокой токсичностью, способны длительное время сохраняться в окружающей среде и накапливаться в живых организмах.

Органические соединения формируются в процессе биохимического разложения пищевых отходов, бумаги и других органических компонентов бытового мусора. В составе фильтрата могут присутствовать органические кислоты ( $\text{R-COOH}$ ), фенольные соединения ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) и другие продукты распада органического вещества. Такие соединения способны изменять химический состав природных вод и оказывать негативное воздействие на водные организмы.

Минеральные соли, в частности хлориды ( $\text{Cl}^-$ ) и сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), также являются распространёнными компонентами фильтрата полигонов. Их присутствие в водной среде может приводить к увеличению минерализации воды и изменению её химических свойств. Повышенная концентрация солей может ухудшать качество водных ресурсов и снижать их пригодность для хозяйственно-бытового использования.

Кроме перечисленных веществ, в составе фильтрата могут присутствовать различные ксенобиотические соединения, включая поверхностно-активные вещества (ПАВ), остатки моющих средств и другие синтетические органические вещества. Данные соединения

обладают устойчивостью к естественным процессам разложения и способны оказывать длительное негативное воздействие на окружающую среду.

Следовательно, состав фильтрата полигонов твердых бытовых отходов характеризуется значительным разнообразием загрязняющих веществ, многие из которых обладают высокой токсичностью и способны распространяться в природной среде. Наличие данных соединений в фильтрате обуславливает необходимость постоянного экологического мониторинга состояния водных ресурсов в районах размещения полигонов твердых бытовых отходов [8].

### Литература

1. Global Waste Management Outlook 2 / UNEP. – United Nations Environment Programme, 2022.
2. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / World Bank. – Washington, DC : World Bank, 2018.
3. Tchobanoglous, G. Integrated Solid Waste Management / G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil. – New York : McGraw-Hill, 1993.
4. Бейсенова, А. С. Экологические проблемы Казахстана и пути их решения / А. С. Бейсенова, А. Б. Самакова. – Алматы : Қазақ университеті, 2021. – 280 с.
5. Теучеж, А. А. Производственные и бытовые отходы / А. А. Теучеж. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 180 с.
6. Жандаулетова, Ф. Р. Экологическое воздействие промышленности на водные и земельные ресурсы / Ф. Р. Жандаулетова, А. А. Абикенова. – Алматы : АУЭС, 2022. – 210 с.
7. Abdel-Shafy, H. I. Landfill leachate: sources, nature, organic composition and treatment / H. I. Abdel-Shafy, A. M. Ibrahim // Environmental Technology & Innovation. – 2024.
8. Hoornweg, D. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management / D. Hoornweg, P. Bhada-Tata. – Washington, DC : World Bank, 2012.

# Исследование показателей безопасности овощной и рыбной продукции в соответствии с требованиями ЕАЭС

Шепен Жансая Кенжеғалиқызы

Студент

Тажиғосова Дильназ Болатбекқызы

Студент

Научный руководитель:

Ибраимова Сания Ерболатовна

PhD, ассистент-профессор, АО «Алматинский технологияческий университет»

**Аннотация:** В работе рассмотрены показатели безопасности овощной (томаты и листовой салат) и рыбной продукции в соответствии с требованиями технических регламентов Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Особое внимание уделено контролю содержания токсичных элементов, микробиологических показателей и соответствию нормативам безопасности пищевых продуктов. Проведен анализ основных факторов риска, влияющих на качество продукции. Установлено, что соблюдение требований технических регламентов ТР ЕАЭС обеспечивает снижение потенциальной опасности пищевой продукции для здоровья человека.

**Ключевые слова:** ЕАЭС, пищевые продукты, безопасность, томаты, салат листовой, рыба, тяжелые металлы, микробиологические показатели, технические регламенты.

В современных условиях обеспечение безопасности пищевой продукции является одной из приоритетных задач системы продовольственного контроля. В рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) разработаны технические регламенты, устанавливающие единые требования к качеству и безопасности пищевых продуктов [1].

Особое значение имеет контроль овощной и рыбной продукции, поскольку данные группы продуктов широко потребляются населением и могут накапливать опасные вещества, включая тяжелые металлы и микробиологические загрязнители.

К основным нормативным документам относятся:

— ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»

— ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки»

— ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»

Целью данного исследования является оценка показателей безопасности томатов, листового салата и рыбной продукции в соответствии с требованиями ЕАЭС [2].

В качестве объектов исследования были выбраны томаты, листовой салат и рыба. Оценка безопасности проводилась по следующим показателям:

- содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg);
- микробиологические показатели (КМАФАнМ, наличие патогенной микрофлоры);
- органолептические характеристики (цвет, запах, консистенция);
- соответствие нормативам ЕАЭС.



Методологической основой послужили действующие ГОСТы и технические регламенты ЕАЭС [3].

Результаты анализа показали, что содержание тяжелых металлов в томатах и листовом салате варьируется в зависимости от условий выращивания. Листовой салат характеризуется более высоким уровнем накопления загрязняющих веществ. Это связано с его морфологическими особенностями — большая площадь поверхности листьев способствует осаждению и поглощению токсичных элементов из окружающей среды. Томаты, напротив, имеют более низкие показатели загрязнения благодаря плотной кожице и внутренней структуре плодов, которая ограничивает проникновение токсикантов. Также установлено, что уровень нитратов в листовых овощах может превышать показатели в плодовых культурах, особенно при интенсивном использовании азотных удобрений [4].

Анализ рыбной продукции показал зависимость уровня загрязнения от экологического состояния водоема и вида рыбы. Хищные виды рыб (например, сазан) имеют более высокий уровень накопления тяжелых металлов, особенно ртути, по сравнению с мирными видами (карась, карп). Основными источниками загрязнения являются промышленные выбросы, сточные воды и природные геохимические процессы. Микробиологические показатели рыбы соответствовали нормативным требованиям при условии соблюдения правил хранения и транспортировки [5].

Сравнительный анализ показал:

- наибольшая склонность к накоплению токсикантов наблюдается у листового салата;
- томаты занимают промежуточное положение по уровню загрязнения;
- рыбная продукция демонстрирует вариативность показателей в зависимости от вида и среды обитания [6].

Таким образом, уровень риска для здоровья потребителей зависит от биологических особенностей продукта и условий его производства. Проведенное исследование подтверждает важность системного контроля безопасности пищевой продукции в соответствии с требованиями ЕАЭС. Установлено, что овощная и рыбная продукция может накапливать токсичные вещества, однако при соблюдении технологических и санитарных норм уровень загрязнения не превышает допустимых значений. Наиболее уязвимой группой являются листовые овощи, что требует усиленного контроля содержания нитратов и тяжелых металлов. Рыбная продукция требует мониторинга в зависимости от вида, возраста гидробионтов и условий вылова, так как экологическая обстановка водоёмов напрямую влияет на качество сырья. Результаты исследования показывают, что внедрение и строгое соблюдение технических регламентов ЕАЭС (включая регламенты по безопасности пищевой продукции и её маркировке) является основой профилактики рисков для здоровья населения. Особое значение имеет регулярный лабораторный контроль с использованием современных методов анализа, позволяющих выявлять даже следовые количества токсикантов. Таким образом, обеспечение безопасности овощной и рыбной продукции требует постоянного мониторинга, совершенствования нормативной базы и усиления контроля на всех этапах пищевой цепи [7].

## Research of safety indicators of vegetable and fish products in accordance with the requirements of the EAEU

Shepen Zhansaya Kenzhegaliqyzy

Tazhigsova Dilnaz Bolatbekqyzy

Scientific supervisor: Ibraimova Saniya Yerbolatovna

**Abstract:** The paper considers the safety indicators of vegetable (tomatoes and lettuce) and fish products in accordance with the requirements of the technical regulations of the Eurasian Economic Union (EAEU). Special attention is paid to the control of the content of toxic elements, microbiological parameters and compliance with food safety standards. The analysis of the main risk factors affecting product quality is carried out. It has been established that compliance with the requirements of the technical regulations of the EAEU TR ensures a reduction in the potential danger of food products to human health.

**Keywords:** EAEU, food products, safety, tomatoes, lettuce, fish, heavy metals, microbiological indicators, technical regulations.

In modern conditions, ensuring food safety is one of the priorities of the food control system. Within the framework of the Eurasian Economic Union (EAEU), technical regulations have been developed that establish uniform requirements for the quality and safety of food products [1].

The control of vegetable and fish products is of particular importance, since these food groups are widely consumed by the population and can accumulate dangerous substances, including heavy metals and microbiological pollutants.

The main regulatory documents include:

- TR CU 021/2011 "On food safety"
- TR CU 022/2011 "Food products in terms of their labeling"
- EAEU TR 040/2016 "On the safety of fish and fish products"

The purpose of this study is to assess the safety indicators of tomatoes, lettuce and fish products in accordance with the requirements of the EAEU [2].

Tomatoes, lettuce and fish were selected as the objects of the study. The safety assessment was carried out according to the following indicators:

- heavy metal content (Pb, Cd, Hg);
- microbiological parameters (CMAFAnM, presence of pathogenic microflora);
- organoleptic characteristics (color, odor, consistency);
- compliance with EAEU standards.

The current GOSTs and technical regulations of the EAEU served as the methodological basis [3].

The analysis results showed that the content of heavy metals in tomatoes and lettuce varies depending on growing conditions. Lettuce is characterized by a higher level of accumulation of pollutants. This is due to its morphological features — the large surface area of the leaves contributes to the deposition and absorption of toxic elements from the environment. Tomatoes, on the contrary, have lower pollution rates due to the dense skin and internal structure of the fruit, which limits the penetration of toxins. It has also been found that nitrate levels in leafy vegetables can exceed those in fruit crops, especially with the intensive use of nitrogen fertilizers [4].

The analysis of fish products showed the dependence of the pollution level on the ecological condition of the reservoir and the type of fish. Predatory fish species (for example, carp) have a higher level of accumulation of heavy metals, especially mercury, compared with peaceful species (crucian carp, carp). The main sources of pollution are industrial emissions, wastewater and natural geochemical processes. The microbiological parameters of the fish met regulatory requirements, subject to compliance with the rules of storage and transportation [5].

The comparative analysis showed:

- lettuce has the greatest tendency to accumulate toxic substances.;
- tomatoes occupy an intermediate position in terms of pollution level;
- fish products demonstrate variability of indicators depending on the species and habitat

[6].

Thus, the level of risk to consumer health depends on the biological characteristics of the product and the conditions of its production. The conducted research confirms the importance of systematic food safety control in accordance with the requirements of the EAEU. It has been established that vegetable and fish products can accumulate toxic substances, however, if technological and sanitary standards are followed, the pollution level does not exceed acceptable values. The most vulnerable group is leafy vegetables, which requires increased control of the content of nitrates and heavy metals. Fish products require monitoring depending on the species, age of aquatic organisms and fishing conditions, as the ecological situation of reservoirs directly affects the quality of raw materials. The results of the study show that the implementation and strict compliance with the EAEU technical regulations (including regulations on food safety and labeling) is the basis for the prevention of risks to public health. Of particular importance is regular laboratory monitoring using modern analytical methods that can detect even trace amounts of toxicants. Thus, ensuring the safety of vegetable and fish products requires constant monitoring, improvement of the regulatory framework and increased control at all stages of the food chain [7].

#### Список литературы

1. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции. – Евразийская экономическая комиссия, 2011.
2. Евразийская экономическая комиссия. Официальный сайт технических регламентов ЕАЭС. – <https://eec.eaeunion.org>
3. Codex Alimentarius Commission. General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995). FAO/WHO, 2023.
4. Орехов В.И. Экологическая безопасность пищевого сырья. – СПб.: Лань, 2021.
5. ТР ЕАЭС 040/2016. О безопасности рыбы и рыбной продукции. – Евразийская экономическая комиссия, 2016.
6. Тутельян В.А. Гигиена питания и безопасность пищевых продуктов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020.
7. Никитина Е.В. Безопасность пищевых продуктов: учебное пособие. – М.: Академия, 2019.

# APPLICATION OF OPTIMAL DECISION-MAKING MODELS IN ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF CYBERSECURITY RISKS

**Sevinj Karimova**

[0000-0002-4715-2680] Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

**Turkan Bashirli**

[0009-0007-7780-3097] Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

## SUMMARY

This study investigates how cybersecurity risks, which have intensified with the acceleration of digitalization, can be assessed more effectively. The research is not limited to a theoretical framework; it also demonstrates the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) based on a practical scenario developed for the financial sector. The findings indicate that the integration of these approaches yields more effective outcomes in terms of risk reduction and optimal resource allocation compared to traditional methods. The study further examines cybersecurity risks from technical, organizational-managerial, and human-factor perspectives, while presenting the decision-making process in a clear and structured manner through both qualitative and quantitative approaches. In addition, the applicability of methods such as fuzzy logic, Bayesian approaches, and Monte Carlo simulation in this domain is discussed. Moreover, the research proposes a conceptual model that integrates classical decision-making models with artificial intelligence-based systems. This framework enables the alignment of strategic-level decisions with real-time operational processes executed through SOAR platforms. Furthermore, incorporating economic indicators such as ROI and ALE facilitates a closer alignment between cybersecurity measures and broader business objectives.

**Keywords:** *cybersecurity, risk assessment, decision-making, optimal decision, AHP, TOPSIS, risk analysis*

## INTRODUCTION

The acceleration of digitalization has led to the increasing complexity of cybersecurity risks and the emergence of new forms of threats. Modern organizations are no longer limited to implementing technical protection measures to safeguard information assets; they also require analytical risk assessment approaches and the adoption of optimal decision-making strategies. In the risk management process, the appropriate selection of decision-making methods enables organizations to obtain more objective information regarding the probability, impact, and sources of potential threats.

Cybersecurity risk analysis is generally considered a multi-criteria process in which various alternatives, uncertainty factors, probability values, and resource constraints must be taken into account.

The aim of this article is to comparatively examine optimal decision-making models used in cybersecurity risk assessment, identify their advantages and areas of application, and evaluate the effectiveness of these approaches within the context of the modern security environment.

### Cybersecurity risk analysis

The accurate assessment of cybersecurity risks is one of the fundamental stages in protecting an organization's information assets. The concept of risk incorporates both the probability of a potential threat occurring and the extent of the damage that such a threat may inflict on the organization. The increasing complexity of digital infrastructures and the dynamic evolution of attack methods have made the identification and measurement of risks more challenging and multidimensional.

Cybersecurity risks originate from various sources and are generally examined within three main categories:

- a) *Technical risks (network vulnerabilities, software flaws, configuration errors, etc.)*
- b) *Procedural and managerial risks (inadequate policies, ineffective procedures, weak control mechanisms, etc.)*
- c) *Human-related risks (user errors, social engineering attacks, insider threats, weak password policies, etc.)*

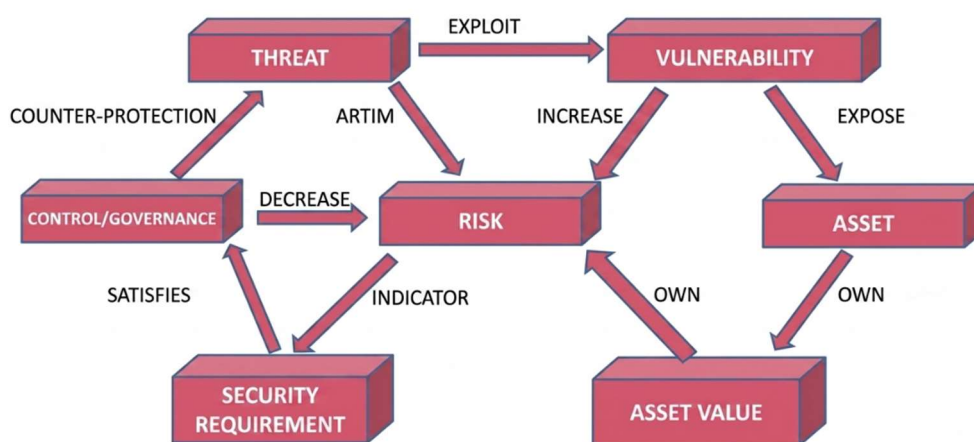
The analysis of cybersecurity risks is primarily based on the interaction of three key components:

1. *Threat*: An activity with the potential to cause harm (e.g., malware, insider threats, etc.).
2. *Vulnerability*: A weakness within a system or process that can be exploited by a threat.
3. *Impact*: The financial, reputational, or operational damage resulting from the successful exploitation of a threat.

The relationship among these components is commonly expressed through the following formula:

$$\text{Risk} = \text{Probability} \times \text{Impact}$$

Figure 1. Risk Management.



Source: ICT Essentials Academy for Senior Civil Servants: Information Security and Privacy (2019).

### Theoretical Foundations of Decision-Making Methods

Decision-making is one of the central elements of risk management, enabling organizations to select the most optimal alternative under conditions of limited resources. This process is based on both theoretical and practical approaches and requires the application of various methods. In risk management, decision-making often takes place under uncertainty and conditions of incomplete information.

#### 1. Qualitative approach

Qualitative decision-making methods are primarily based on expert judgments, matrices, and classification systems. This approach is commonly used for preliminary assessments, strategic decisions, and rapid analysis.

## *2. Quantitative approach*

The quantitative approach involves expressing risks in numerical terms. These methods provide more precise and measurable results. Since quantitative approaches produce more objective outcomes, they are widely preferred in high-risk domains.

## *3. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)*

Multi-criteria methods enable the selection of an optimal alternative based on several criteria simultaneously. These methods are particularly useful in risk management, where multiple factors such as security, cost, performance, and compliance must be evaluated in parallel.

## *4. Decision-making under uncertainty*

In risk management, most decisions are made under uncertainty. In such cases, probability distributions, scenario analysis, and best-case and worst-case approaches are widely applied.

## *5. Concept of optimal decision*

An optimal decision refers to a choice that provides the most balanced solution among criteria such as risk, cost, performance, and security.

### **Optimal decision-making models in cybersecurity risk management**

In cybersecurity risk management, optimal decision-making models enable organizations to prioritize threats, allocate resources efficiently, and minimize potential losses. Modern approaches incorporate both classical methods and artificial intelligence-based techniques.

## *1. Analytic Hierarchy Process (AHP)*

The Analytic Hierarchy Process is a multi-criteria decision-making method that provides a structured approach to prioritizing risks and selecting optimal solutions. In AHP, the decision problem is organized hierarchically: the main objective at the top level, evaluation criteria at the middle level, and alternatives at the bottom level. Expert judgments are used to assign weights to criteria, and final priorities of alternatives are calculated based on these weights.

## *2. TOPSIS Method*

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) is a multi-criteria decision-making method based on the principle of proximity to the ideal solution. In this approach, the distance of each alternative from both the ideal positive and ideal negative solutions is calculated, and the alternative closest to the ideal solution is selected as the optimal choice. In risk management, TOPSIS provides an effective framework for comparing different scenarios.

## *3. Fuzzy logic-based models*

Fuzzy logic models are used to address uncertainty and subjectivity in decision-making. While classical mathematical models rely on precise data, fuzzy logic can process vague and imprecise information in risk assessment. In this method, risk criteria and impacts are expressed using linguistic terms such as “high,” “medium,” and “low,” which are then converted into mathematical functions for computation.

## *4. Bayesian approach*

The Bayesian approach is based on the principle of probability updating in risk management. In this method, prior probabilities are updated using new data and observations through Bayes’ theorem, allowing the model to reflect the most current state of the system.

## *5. Monte Carlo Simulation*

Monte Carlo simulation is a widely used quantitative method for risk analysis under uncertainty. It is applied to predict the impact of risks by simulating thousands of scenarios based on predefined probability distributions. The results are then evaluated statistically to support decision-making.

### **Artificial intelligence and automated decision-making in cybersecurity**

In modern cybersecurity environments, the volume of data and the complexity of threats make it difficult for human-based traditional methods to manage risks effectively. Therefore, artificial intelligence (AI) and automated decision-making systems play a crucial role in risk



assessment and security decision processes. These approaches enable real-time data processing and support optimal decision-making in complex and dynamic threat environments.

Security Orchestration, Automation, and Response (SOAR) platforms automate security operations and facilitate risk-based decision-making in organizations. These systems monitor threats in real time, evaluate risk levels using analytical models and predefined rules, and automatically implement appropriate security responses.

*Figure 2. Comparison of decision-making approaches.*

| Model            | Advantages                                | Disadvantages                          | Practical Application Area                               |
|------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| AHP              | Structured decision, expert opinion       | Subjective assessment                  | Risk prioritization, event selection                     |
| TOPSIS           | Multi-criteria balance, objective ranking | Importance of criteria weight          | Alternative comparison, resource allocation              |
| Fuzzy Logic      | Working with imprecise data               | Mathematical complexity                | Anomaly detection, complex scenarios, murekkab scenarios |
| Bayes            | Adaptive, updates probabilities           | Requires large amounts of data         | Dinamic risk assessment, assonment, threat forecasting   |
| Monte Carlo      | Quantitative analysis under uncertainty   | Requires computational resources       | Financial and loss forecasting, scenario analysis        |
| Machine Learning | Pattern discovery in large data           | Model learning quality keyfiyyati      | Attack forecasting, risk analysis                        |
| SOAR             | Automated response, real-time             | Does not fully replace human expertise | Security operations, response measures                   |

*Source: Prepared by the author.*

### Assessment of cybersecurity risk and optimal decision-making based on ROI and ALE indicators

In the context of cybersecurity risk assessment, two widely used economic indicators within optimal decision-making models are Return on Investment (ROI) and Annual Loss Expectancy (ALE). These metrics help organizations determine which security measures are economically justified and worth implementing.

#### 1. ALE (Annual Loss Expectancy)

ALE measures the expected annual financial impact of a risk and is calculated as follows:

$$ALE = SLE \times ARO$$

Where:

- *SLE (Single Loss Expectancy)* – the financial loss resulting from a single incident
- *ARO (Annual Rate of Occurrence)* – the estimated frequency of the incident per year

ALE indicates the approximate annual financial loss an organization may experience due to a specific cybersecurity threat.

Example:

$$SLE = 10,000 \$$$

$$ARO = 0.5 \text{ (once every two years)}$$

$$ALE = 10,000 \times 0.5 = 5,000 \$$$

This means the expected annual loss is 5,000 \$.

#### 2. ROI (Return on Investment)

In cybersecurity, ROI evaluates the financial effectiveness of a security investment and is calculated as:



$$ROI = \frac{(Risk\ Reduction - Cost)}{Cost} \times 100\%$$

Where:

- *Risk Reduction* – the decrease in risk after implementing a security measure (often derived from the difference in ALE values)
  - *Cost* – the cost of implementing the security measure
- ROI indicates how well an investment justifies its cost.

Example 1:

Initial ALE = 5,000 \$

Post-implementation ALE = 1,000 \$

Risk Reduction = 4,000 \$

Cost = 2,000 \$

$$ROI = (4,000 - 2,000) / 2,000 \times 100\% = 100\%$$

This indicates a *highly effective* investment.

Example 2:

Initial (ALE) = 5,000 \$

Post-implementation ALE = 3,500 \$

Risk Reduction = 1,500 \$

Cost = 4,000 \$

$$ROI = \frac{(1500 - 4000)}{4000} \times 100\% = -62.5\%$$

In this case, although the security measure reduces risk, the cost is disproportionately high. The benefit (1,500 \$) does not compensate for the investment cost (4,000 \$). A negative ROI indicates that the investment is not economically justified.

## RESULT

Optimal decision-making approaches in risk management play a crucial role in enabling organizations to achieve their security and strategic objectives. The conducted analysis shows that different models—classical multi-criteria methods, statistical and probabilistic approaches, as well as artificial intelligence and automated systems—complement each other and provide more effective outcomes in complex risk environments. Each model has its own advantages and limitations.

In practice, the integration of these approaches at the organizational level allows for the optimization of both strategic and operational decision-making. At the strategic level, it supports efficient resource allocation and the development of long-term security plans, while at the operational level, it enables real-time threat detection and the implementation of timely response measures. In addition, the human factor and organizational culture remain key elements influencing the effectiveness of decision-making processes.

It is recommended that organizations do not apply risk management models in isolation but instead integrate them in a complementary manner. Classical and probabilistic models should be primarily used for strategic planning, whereas artificial intelligence and automated systems are more suitable for operational-level decision-making.

In conclusion, these approaches provide sustainable benefits for both small and large organizations and enhance the importance of modern organizational practices in cybersecurity risk management.

## REFERENCES

1. Aven, T. (2015). Risk Analysis. Wiley.
2. Azərbaycan Standartlaşdırma İnstitutu, Risklərin idarə edilməsi- Təlimatlar, 2018
3. Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer.
4. Buczak, A. L., & Guven, E. (2016). A survey of data mining and machine learning methods for cybersecurity intrusion detection. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18(2), 1153–1176.
5. Gartner. (2020). SOAR Market Guide: Security Orchestration, Automation and Response.
6. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer.
7. ISO/IEC 27005. (2022). Information security risk management. International Organization for Standardization.
8. NIST. (2012). Guide for Conducting Risk Assessments (SP 800-30 Rev. 1). National Institute of Standards and Technology.
9. Pritchard, C. L. (2015). Risk Management: Concepts and Guidance. CRC Press.
10. Rəhbər dövlət qulluqçuları üçün İKT-nin əsasları akademiyası. (2019). İnformasiya təhlükəsizliyi və şəxsi həyatın toxunulmazlığı.
11. Ross, S. M. (2014). Introduction to Probability Models. Academic Press.
12. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.
13. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353.
14. [https://www.umassd.edu/media/umassdartmouth/fycm/decision\\_making\\_process.pdf](https://www.umassd.edu/media/umassdartmouth/fycm/decision_making_process.pdf)

# SÜNİ İNTELLEKT TEKNOLOGİYALARININ KOMPÜTER SİSTEMLƏRİNİN İNKİŞAFINA VƏ SƏMƏRƏLİLİYİNƏ TƏSİRİ

Qənirə V. Namazova

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, magistr, ORCID: 0009-0006-0875-1302

## Xülasə

Süni intellektin (Sİ) kompüter sistemi arxitekturasında tətbiqi bu sistemlərin sürətini, dəqiqliyini və ümumi performansını əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır. Sİ böyük həcmli məlumatları sürətli və dəqiq şəkildə emal etməklə sistemlərin daha səmərəli və etibarlı işləməsinə şərait yaradır. Bu xüsusiyyətlər xüsusilə real vaxt rejimində işləyən sistemlər üçün böyük əhəmiyyət daşıyır və operativ qərarların qəbulunu asanlaşdırır. Eyni zamanda, Sİ alqoritmləri resursların optimal bölüşdürülməsini təmin edir, enerji sərfiyyatını azaldır və bununla da daha dayanıqlı hesablama mühiti formalaşdırır. Bu işə həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan mühüm üstünlüklər yaradır.

Maşın öyrənməsi (MA) bu prosesdə mühüm rol oynayır. O, kompüter sistemlərinə tarixi məlumatlardan öyrənmək, dəyişən şərtlərə uyğunlaşmaq və zamanla öz fəaliyyətini təkmilləşdirmək imkanı verir. Bu adaptivlik sistemlərin etibarlılığını artırır, qərar qəbul etmə prosesini təkmilləşdirir və əməliyyat xətlərinin sayını azaldır. Eyni zamanda, bu texnologiya sistemlərin daha çevik və istifadəçi tələblərinə uyğun olmasına imkan yaradır.

Bundan əlavə, Sİ sistem təhlükəsizliyinin gücləndirilməsində də vacib rol oynayır. O, sistemin həyat dövrünün ilkin mərhələlərində potensial təhdidləri və anomaliyaları aşkar edə bilir. Bu proaktiv yanaşma risklərin qarşısını almağa, hücumların erkən mərhələdə aşkarlanmasına və məlumatların bütövlüyünü qorumağa kömək edir.

Sİ həmçinin ənənəvi metodlarla çətin və ya mümkün olmayan mürəkkəb problemlərin həllini mümkün edir. Onun kompüter sistemlərinin dizaynı, tətbiqi və idarə olunmasına integrasiyası yeni innovasiyaların yaranmasına səbəb olmuşdur. Nəticədə, daha ağıllı, çevik, təhlükəsiz və səmərəli hesablama sistemləri formalaşmışdır.

**Açar sözlər:** Süni intellekt, kompüter sistemləri, maşın öyrənməsi, səmərəlilik, avtomatlaşdırma

## THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT AND EFFICIENCY OF COMPUTER SYSTEMS

Ganira V. Namazova

Azerbaijan State University of Economics, Master

ORCID: 0009-0006-0875-1302

## Summary

The application of artificial intelligence (AI) in computer system architecture has significantly improved system speed, accuracy, and overall performance. AI enables the rapid and precise processing of large volumes of data, allowing systems to operate more efficiently and reliably. These capabilities are especially important for real-time systems, where quick data analysis and decision-making are essential. In addition, AI algorithms optimize resource allocation, reduce energy consumption, and contribute to the development of more sustainable computing environments. This provides both economic and environmental benefits.

Machine learning (ML) plays a crucial role in this process. It allows computer systems to learn from historical data, adapt to changing conditions, and continuously improve their performance over time. This adaptability enhances system reliability, improves decision-making processes, and reduces the number of operational errors. At the same time, it enables systems to become more flexible and better aligned with user needs.

Furthermore, AI plays an important role in strengthening system security. It can detect potential threats and anomalies at early stages of the system lifecycle. This proactive approach helps prevent risks, identify attacks at an early stage, and ensure data integrity.

AI also makes it possible to solve complex problems that are difficult or impossible using traditional methods. Its integration into system design, deployment, and management drives innovation and results in more intelligent, flexible, secure, and efficient computing systems.

**Keywords:** *artificial intelligence, computer systems, machine learning, efficiency, automation*

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА РАЗРАБОТКУ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

**Ганира В. Намазова**

*Азербайджанский Государственный Экономический Университет, Магистр  
ОРСИД: 0009-0006-0875-1302*

### **Резюме**

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в архитектуре компьютерных систем значительно повысило их скорость, точность и общую производительность. ИИ позволяет быстро и точно обрабатывать большие объемы данных, что обеспечивает более эффективную, стабильную и надежную работу современных систем. Эти возможности особенно важны для систем реального времени, где требуется оперативный анализ информации и максимально быстрое принятие решений. Кроме того, алгоритмы ИИ оптимизируют распределение ресурсов, значительно снижают энергопотребление и способствуют формированию более устойчивой и эффективной вычислительной среды. Это дает как экономические, так и экологические преимущества.

Машинное обучение (МО) играет ключевую и важную роль в этом процессе. Оно позволяет системам обучаться на основе исторических данных, адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям и со временем заметно улучшать свою работу. Такая адаптивность повышает надежность систем, существенно улучшает процессы принятия решений и снижает количество возможных операционных ошибок. Одновременно это делает системы более гибкими и лучше ориентированными на реальные потребности пользователей.

Кроме того, ИИ играет важную роль в повышении общей безопасности систем. Он способен эффективно выявлять потенциальные угрозы и аномалии на самых ранних этапах жизненного цикла. Такой проактивный подход помогает своевременно предотвращать риски, обнаруживать атаки на ранних стадиях и надежно обеспечивать целостность данных. ИИ также позволяет решать сложные задачи, которые трудно или невозможно реализовать с помощью традиционных методов. Его интеграция в проектирование, внедрение и управление системами способствует инновациям и формированию более интеллектуальных, гибких, безопасных и эффективных вычислительных систем.

**Ключевые слова:** *искусственный интеллект, компьютерные системы, машинное обучение, эффективность, автоматизация*

## GİRİŞ

Son illərdə süni intellekt kompüter elmləri sahəsində ən təsirli texnologiyalardan birinə çevrilib. Onun sürətli inkişafı kompüter sistemlərinin dizaynı, idarə olunması və həyatın müxtəlif sahələrində istifadəsini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirib. Sadə avtomatlaşdırma tapşırıqlarından mürəkkəb məlumatların təhlilinə qədər süni intellekt hazırda müasir hesablama mühitlərinin vacib bir hissəsidir.

Rəqəmsal məlumatların artan miqdarı və daha sürətli və daha səmərəli emal tələbatının artması ənənəvi yanaşmaları daha az effektiv edib. Bu kontekstdə süni intellekt sistemlərə böyük məlumat dəstlərini təhlil etməyə, nümunələri tanımağa və minimal insan müdaxiləsi ilə qərarlar qəbul etməyə imkan verərək yeni imkanlar təqdim edir. Bu imkanlar dinamik şəraitə cavab verə bilən daha çevik və ağıllı sistemlərə qapı açır.

Eyni zamanda, süni intellekt resurs istifadəsini optimallaşdırmaqla və lazımsız əməliyyatları azaltmaqla sistemin səmərəliliyinin artırılmasına töhfə verir. O, həmçinin sistemin etibarlılığını və təhlükəsizliyini artırmaqda rol oynayır. Nəticədə, süni intellekt texnologiyalarının kompüter sistemlərinə təsirini anlamaq həm tədqiqatçılar, həm də sahədə çalışan mütəxəssislər üçün vacib bir mövzuya çevrilib.

### **Süni intellekt texnologiyalarının kompüter sistemlərinin inkişafında rolu və tətbiq sahələri**

Süni intellekt kompüter sistemləri və onların inkişaf proseslərində, arxitekturalarında və funksiyalarında əsas amilə çevrilib. Ənənəvi metodlar öz-özlüyündə böyük və getdikcə daha mürəkkəb məlumat dəstlərinin sürətlə inkişaf edən bu dünyasında effektiv fəaliyyət göstərmək üçün tələb olunan səmərəlilik, çeviklik və performans səviyyəsini təmin edə bilmir. Maşın öyrənməsi (ML), dərin öyrənmə (DL) və ağıllı avtomatlaşdırma (IA) daxil olmaqla süni intellekt texnologiyasındakı irəliləyişlərlə kompüter sistemləri yalnız daha həssas olmağa deyil, həm də onlara qoyulan bir çox müasir tələbləri ödəməyə kömək edən yeni yollarla dizayn edilə və ya idarə edilə bilər. (Obiegbu & Larsen, 2024)

Süni intellektin kompüter sistemlərinə ən vacib töhfələrindən biri də çoxlu miqdarda məlumatı emal etmək və təhlil etmək qabiliyyətidir. Bir çox müxtəlif mənbələrdən (sensorlar, istifadəçi hərəkətləri, şəbəkələr tərəfindən yaradılan məlumatlar) bugünkü rəqəmsal mühitdə dünyanın hər yerində birdən çox insan tərəfindən yaradılan çoxlu miqdarda məlumat var; buna görə də, SI əsaslı texnologiyalar nümunələrin müəyyən edilməsinə, müvafiq (son istifadəçi üçün) məlumatların çıxarılmasına və real vaxt rejimində qərar qəbul etmək üçün məlumatın kifayət qədər detalla formatlanmasına imkan verir. Bu imkanlar qərarların tez bir zamanda qəbul edilməli olduğu vəziyyətlərdə vacibdir, çünki baş verə biləcək dərhal və dramatik nəticələr (maliyyə xidmətləri, səhiyyə, kibertəhlükəsizlik) baş verə bilər.

Süni intellektin (SI) sistemlərin səmərəliliyinin artırılmasında istifadəsi də tətbiqin vacib bir sahəsidir. SI əsaslı alqoritmlər sistemin fəaliyyətini təhlil etməyə, səmərəsizliyin olduğu sahələri müəyyən etməyə və hər bir sistemin ümumi səmərəliliyini artırmaq üçün resursları dəyişdirməyə kömək edə bilər. Məsələn, bulud hesablama mühitində SI hesablama gücünü və yaddaşın istifadə səviyyələrinə uyğun olaraq bölüşdürülməsinə kömək edə bilər və bununla da bulud daxilindəki sistemlərin səmərəliliyini optimallaşdırır. SI həmçinin ənənəvi olaraq insan iştirakı və müdaxiləsi tələb edən bir çox mürəkkəb proseslərin avtomatlaşdırılmasında da istifadə olunur. Bu, bir çox gündəlik və təkrarlanan funksiyaların yerinə yetirilməsində insan iştirakının aradan qaldırılması səbəbindən daha sürətli dönüş müddətlərinə və daha az səhvlərə səbəb olmuşdur. Xüsusilə, avtomatlaşdırılmış proqram təminatı testi, şəbəkə administrasiyası və məlumatların emalı kimi sahələrdə SI texnologiyasının istifadəsi bütün müvafiq sistemlərin həm məhsuldarlığını, həm də dəqiqliyini artırır. (Hopgood, 2021)

Süni intellekt proseslərin avtomatlaşdırılması ilə yanaşı, tarixi məlumatlardan öyrənmə və zamanla sistemin işini yaxşılaşdıran maşın öyrənmə modelləri vasitəsilə kompüter sistemlərinin uyğunlaşma qabiliyyətini də artırır. Bu o deməkdir ki, sistemlər artıq dinamikdir və yeni şərtlərə və istifadəçi

tələblərinə əsasən dəyişə bilər. Məsələn, fərdiləşdirilmiş məzmun internet platformalarında istifadəçilərin əvvəlki fəaliyyətinə əsaslanan bir çox tövsiyə sistemləri tərəfindən təqdim olunur; oxşar şəkildə, proqnozlaşdırıcı texniki xidmət sistemləri aktivin sıradan çıxmazdan əvvəl nə vaxt sıradan çıxacağını proqnozlaşdırmaqla bilər. Bu nümunələr süni intellektin sistemləri daha ağıllı və istifadəçi mərkəzli etmək qabiliyyətini göstərir.

Süni intellektin (Sİ) təhlükəsizlik sahəsindəki digər əhəmiyyətli üstünlüyü ondan ibarətdir ki, kiberhücum texnikalarının artan mürəkkəbliyi ənənəvi təhlükəsizlik tədbirlərinin təkbaşına hücumun aşkarlanması və qarşısının alınması üçün getdikcə qeyri-kafi olmasıdır. Sİ texnologiyaları şəbəkə trafikini avtomatik olaraq izləyə, müəyyən edilmiş normadan kənar anomaliyaları aşkarlaya və potensial təhdidlərə real vaxt rejimində cavab verə bilər. Bu proaktiv/real vaxt yanaşmaları informasiya texnologiyaları sistemlərinin təhlükəsizliyini artırma və məlumatların sızması ehtimalını azalda bilər. Bundan əlavə, Sİ təşkilatlara zəiflikləri müəyyən etməkdə və təhlükəsizlik mövqeyini gücləndirməkdə kömək edə bilər, buna görə də bu, müasir kibertəhlükəsizlik strategiyasının vacib bir hissəsidir. (Rosário & Dias, 2023)

Süni intellekt (Sİ) insanların kompüterlər və digər cihazlarla qarşılıqlı əlaqə və ünsiyyət qurma tərzinin təkmilləşdirilməsində mühüm rol oynayır. Təbii dil emalı (NLP) və kompüter görmə (CV) istifadə etməklə, ağıllı sistemlər insan girişini daha yaxşı şərh edə və cavab verə bilər. Bu irəliləyişlər nəticəsində bir çox yeni ağıllı sistem formaları (məsələn, səsli aktivləşdirilən interfeyslər, görüntü tanıma sistemləri) adı halda gəlmişdir. Bu texnologiyalardan istifadə istifadəçilərin kompüterlərlə qarşılıqlı əlaqə tərzini daha təbii/səmərəli etməklə onları istifadə rahatlığı baxımından daha yaxşı hala gətirmişdir.

Bundan əlavə, Sİ kompüter sistemlərinin qurulması və ya dizaynı üçün yeni metodlar və təcrübələr yaratmaq üçün də istifadə olunur. Proqram təminatının hazırlanması sahəsində tərtibatçılar daha keyfiyyətli proqram təminatını daha tez istehsal etmək üçün Sİ əsaslı alətlərdən istifadə edirlər. İnkişaf zamanı Sİ alətlərini tətbiq etməklə tərtibatçılar hazır məhsullarının etibarlılığını artırma və yeni proqram təminatı tətbiqlərinin yaradılmasına sərf olunan vaxtı azalda bilərlər. Sİ həmçinin aparat sektorunda CPU və yaddaş sistemlərinin performansını artırmağa kömək edir.

Süni intellektin tətbiq olunduğu digər əsas sahə məlumatların idarə edilməsidir. Məlumatlar müasir kompüter sistemlərinin əsasını təşkil edir və bu məlumatları idarə etmək (saxlamaq, əldə etmək, təhlil etmək) qabiliyyəti sistemin işləməsi üçün çox vacibdir. Süni intellekt texnologiyaları verilənlər bazası əməliyyatlarının optimallaşdırılmasını, məlumatların indeksləşdirilməsinin sürətini və dəqiqliyini artırmaqla və məlumat sorğularının sürətini və səmərəliliyini artırmaqla verilənlər bazasının işini artırmaqla bilər. Bu, xüsusilə böyük məlumatlar kontekstində vacibdir, çünki dəyərli məlumatlar əldə etmək üçün səmərəli məlumatların idarə edilməsi zəruridir. Süni intellekt texnologiyaları daha effektiv qərar qəbul etmə üçün dəstək verir və məlumatların idarə edilməsini təkmilləşdirməklə sistem işini yaxşılaşdırır.

Süni intellekt paylanmış/şəbəkə tətbiq mühitlərində geniş istifadə olunur. Paylanmış/iş tətbiq mühitində rabitənin idarə edilməsi, koordinasiya və resurs paylaşımını idarə etmək çətin ola bilər. Süni intellekt texnologiyaları şəbəkə trafikini optimallaşdırmaq, şəbəkə tıxanmasını proqnozlaşdırmaq və məlumatların ötürülməsinin vaxtında olmasını təmin etməklə şəbəkə rabitəsinin işini yaxşılaşdırmağa kömək edir. Bu, xüsusilə çox sayda cihazın bir-birinə bağlı olduğu və davamlı olaraq məlumat mübadiləsi apardığı Əşyaların İnterneti (IoT) kimi genişmiqyaslı tətbiq mühitlərində vacibdir. Bundan əlavə, Süni İntellekt, avtomatlaşdırılmış qərarlar təklif etmək və ya təmin etmək üçün bir çox amilləri qiymətləndirmək qabiliyyəti vasitəsilə ağıllı qərar qəbul etmə sistemləri yaratmaq üçün bir vasitə təmin edir. Məsələn, biznes mühitində süni intellekt təchizat zəncirlərini optimallaşdırmaq; tələbi proqnozlaşdırmaq; müştəri xidmətini artırmaq üçün istifadə edilə bilər. (Hopgood, 2021)

Süni intellektin kompüter sistemlərinə inteqrasiyası bir sıra vacib çətinliklər yaradır, o cümlədən, lakin bunlarla məhdudlaşmır: məlumatların məxfiliyinin qorunması, süni intellektlə bağlı etik

məsələlər (yəni, maşınların qərarlarımızı verməsinə icazə verməliyikmi?) və süni intellekt sistemlərinin şəffaflığı. Bundan əlavə, süni intellekt texnologiyalarının inkişafı böyük hesablama gücü, eləcə də tətbiq üçün texniki təcrübə tələb edir.

Süni intellekt texnologiyasının ortaya çıxması növbəti nəsil kompüter sistemlərinin inkişafı üçün vacibdir. Süni intellekt məlumatların daha çox emalına və performansın optimallaşdırılmasına, proseslərin avtomatlaşdırılmasına və təhlükəsizliyin artırılmasına imkan verir ki, bunların hamısı sistemlərin yaradılması və istifadəsinin necə aparıldığını kəskin şəkildə dəyişdirir.

### **Süni intellektin kompüter sistemlərinin səmərəliliyinin artırılmasına təsiri və optimallaşdırma imkanları**

Süni intellekt bugünkü kompüter sistemlərinin səmərəli işləmə qabiliyyətini artırmaqda mühüm bir komponentdir. Getdikcə daha çox sayda kompüter daha sürətli işləmək və daha çox yayılmış əməliyyat şəraitinə uyğunlaşmaq üçün daha çox miqdarda məlumat emal etdikcə, ənənəvi optimallaşdırma proseslərinin (müxtəlif dərəcədə davamlı tətbiq olunma qabiliyyətinə malik) tətbiqi, istifadəsi üçün tələb olunan zəka/çeviklik/mürəkkəbliklə adekvat şəkildə yerinə yetirilməsi çətinləşib. Nəticə etibarilə, süni intellekt kompüter sistemlərinin ənənəvi optimallaşdırma metodlarının orijinal istifadəsi ilə müqayisədə daha effektiv və səmərəli şəkildə işləməsinə imkan verən güclü vasitələr təmin edə bilər.

Ağıllı resurs idarəetməsi süni intellektin istifadəsinin kompüter sistemlərinin səmərəliliyini artırmağa kömək etdiyi yollardan biridir. Kompüter sistemləri tərəfindən istifadə edilən resurs növlərinə emal, yaddaş, saxlama və şəbəkə bant genişliyi daxildir. Bu resursların səmərəsiz bölüşdürülməsi tez-tez performans darboğazlarına səbəb olur ki, bu da nəticədə əməliyyat xərclərini artırır. Süni intellekt alqoritmləri sistem iş yükünü davamlı olaraq real vaxt rejimində müəyyən edə və resursları ehtiyaca uyğun olaraq dinamik şəkildə paylaya bilər.

Süni intellektin (SI) digər vacib funksiyası proqnozlaşdırıcı optimallaşdırmaadır. SI keçmiş performans məlumatlarını son tendensiyalarla birlikdə təhlil edərək gələcək şərtləri proqnozlaşdırmağa kömək edə bilər. Maşın öyrənmə alqoritmləri bulud əsaslı mühitdə tələbatın nə vaxt ən yüksək olacağını proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər və bu da əvvəlcədən düzəlişlərin edilməsinə imkan verir. Resursları idarə etməyin bu proaktiv yolu gözləmə müddətlərini minimuma endirir və sistemdə həddindən artıq yüklənmənin qarşısını almağa kömək edir. Bundan əlavə, proqnozlaşdırıcı texniki xidmət üsulları da aparat nasazlığını baş verməzdən əvvəl proqnozlaşdırmaq üçün SI-dən istifadə edir ki, təmirlər tez bir zamanda aparılsın və dayanma vaxtını və təmir xərclərini minimuma endirilsin. (Boni, 2024)

Səmərəlilik SI istifadə edərək proseslərin avtomatlaşdırılması ilə də xeyli artırıla bilər. Kompüter sistemləri tərəfindən yerinə yetirilən çoxsaylı tapşırıqlar təkrarlanan, əmək tələb edəndir və məlumatların çeşidlənməsi, monitorinqi və sistemdə müntəzəm yoxlamaların aparılması kimi çox vaxt aparır. Bu prosesləri avtomatlaşdırmaq üçün SI-dən istifadə etməklə əl ilə müdaxilə tələb olunmur və insan səhvi riski xeyli azalır.

Süni intellekt enerji səmərəliliyinin artırılmasına kömək edə bilər, çünki məlumat mərkəzlərinin və hesablama sistemlərinin böyüməsi enerji istifadəsində problemlər yaradır. Süni intellekt sistemlərin işləməsi üçün enerji istifadəsini idarə edə bilər ki, bu da emal olunan kompüter iş yükünün miqdarına əsasən istifadə olunan enerjini optimallaşdıracaq. Məsələn, bu, Süni intellekt alqoritmə tələbatın az olduğu dövrlərdə enerji istehlakını azaltmağa və yalnız yüksək istifadə olduqda performans artırmağa imkan verərdi. Bu, həmçinin əməliyyat xərclərinə qənaəti artırır və bu əməliyyatların ətraf mühitə təsirini azaldır.



**Cədvəl 1.** Süni intellektin resurs idarəetməsində rolu

| Resurs növü | Ənənəvi yanaşma      | AI əsaslı yanaşma       | Nəticə            |
|-------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| CPU         | Statik bölüşdürmə    | Dinamik optimallaşdırma | Yüksək performans |
| Yaddaş      | Sabit istifadə       | Adaptiv idarəetmə       | Daha az gecikmə   |
| Şəbəkə      | Sabit trafik idarəsi | Proqnozlaşdırıcı analiz | Stabil əlaqə      |
| Saxlama     | Sadə bölüşdürmə      | Ağıllı paylama          | Effektiv istifadə |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Sistemin necə işlədiyini daim müşahidə etməklə və sistemin daha yaxşı işləyə biləcəyi sahələri (normal yoxlama metodları ilə aşkar edilməyəcək sahələr) tapmaqla, süni intellekt təkliflər verə və ya səmərəliliyi artıracaq avtomatik olaraq dəyişikliklər və ya düzəlişlər edə bilər.

Süni intellekt kompüter sistemləriniz daxilində daha yaxşı və daha sürətli qərarlar qəbul etməkdə də çox faydalıdır. Ağıllı kompüter ən səmərəli olmaq üçün nə edə biləcəyini müəyyən etmək üçün eyni anda birdən çox şeyə baxa bilər. Məsələn, şəbəkə idarəetməsində ağıllı kompüter ən yaxşı performansla nail olmaq üçün tıxacın qarşısını almaq üçün məlumat trafikini yenidən yönləndirə bilər.

Süni intellekt həmçinin bugünkü kompüter sistemlərində vacib olan miqyaslı proseslərə kömək edə bilər. Kompüter sistemi nə qədər böyük və mürəkkəb olarsa, onun səmərəliliyini qorumaq bir o qədər çətin olacaq. Süni intellekt texnologiyaları, istənilən vaxt nə qədər emal edilməsi lazım olduğuna (iş yükü tələbləri) əsasən resursları və konfigurasiyaları bölüşdürməklə və ya tənzimləməklə sistemin dinamik şəkildə miqyaslanmasına imkan verir. Bu, sisteminizin orijinal dizaynınızdan mümkün qədər uzaq olmaqla yanaşı, onu qurduğunuz zamankı vəziyyətinə mümkün qədər yaxın olmaqla yanaşı, performansını qorumağa imkan verir.

**Cədvəl 2.** Süni intellektin sistem performansına təsiri

| Göstərici      | AI tətbiqindən əvvəl | AI tətbiqindən sonra | Dəyişiklik (%) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Emal sürəti    | Orta                 | Yüksək               | +40%           |
| Gecikmə        | Yüksək               | Aşağı                | -35%           |
| Enerji sərfi   | Yüksək               | Azaldılmış           | -25%           |
| Xəta səviyyəsi | Orta                 | Aşağı                | -30%           |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Süni intellekt məlumatların emalına təsir göstərməsinin əhəmiyyətli bir yolu məlumatların bütövlüyünü yaxşılaşdırmaq və qərar qəbul etmə üçün daha sürətli cavablar və dəqiq nəticələr təmin etmək, eləcə də sistemlərin optimallaşdırılmasına kömək etmək üçün emal üçün tələb olunan vaxtı azaltmaqdır.

Süni intellekt sistemin işləmə müddətini minimuma endirməkdə də vacibdir. Sistem əməliyyatlarını davamlı olaraq izləmək qabiliyyətinə malik olmaqla, süni intellekt istifadəçiləri problemlər və potensial nasazlıqlar baş verməzdən əvvəl xəbərdar edə, etibarlılığı artırır və xidmətlərin kəsilməsinin qarşısını ala biləcək. Məsələn, maliyyə xidmətləri və ya telekommunikasiya kimi işləmə müddətinin milyardlarla dollara başa gələ biləcəyi sahələrdə işləmə müddətini minimuma endirmək qabiliyyəti inanılmaz dərəcədə dəyərlidir.

Süni intellekt proqram təminatında da performansın optimallaşdırılmasına töhfə verir. Kodu nəzərdən keçirmək, səhvləri və/və ya səmərəsizliyi müəyyən etmək və performansını yaxşılaşdırmaq üçün təkliflər vermək üçün bir çox süni intellekt əsaslı proqramlar və/və ya alətlər mövcuddur. Bu alətlərdən istifadə etmək, tərtibatçılara daha səmərəli və etibarlı proqram sistemləri yaratmağa imkan verir ki, bu da öz növbəsində digər kod növlərinə nisbətən daha sürətli işləyən və daha az resurs sərf edən tətbiqlərə səbəb olur və bununla da ümumi sistem performansını yaxşılaşdırır.

**Cədvəl 3.** Süni intellektin optimallaşdırma imkanları

| Sahə               | AI tətbiqi             | Əldə olunan üstünlüklər         |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| Enerji idarəetməsi | Ağıllı enerji nəzarəti | Enerji qənaəti                  |
| Şəbəkə idarəetməsi | Trafik optimallaşdırma | Daha stabil bağlantı            |
| Sistem monitorinqi | Real-time analiz       | Erkən problemlərin aşkarlanması |
| Proqram təminatı   | Kod optimallaşdırma    | Yüksək sürət və sabitlik        |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Süni intellektin kompüter sistemlərində tətbiqi, bütün üstünlüklərinə baxmayaraq sadə deyil. Süni intellekt modellərinin hazırlanması çoxlu sayda hesablama və məlumat tələb edir və istifadəçilərin məxfiliyini qoruyan bir sistem hazırlayarkən hər şeyin təhlükəsizliyini təmin etmək çətinliyi həmişə problem olacaq. Bacarıqlı insanlar da süni intellekt əsaslı sistemlər hazırlamaq üçün təlim keçməlidirlər.

Süni intellekt inkişaf etməyə və kompüter sistemlərinin ümumi səmərəliliyini artırmağa davam etdikcə, süni intellekt texnologiyasından istifadə edərək ağıllı resurs idarəetməsi, proqnozlaşdırıcı analitika, avtomatlaşdırılmış əməliyyatlar və performans monitorinqinin tətbiqi ilə optimallaşdırma üçün əlavə imkanlar yaranacaq. Gələcəkdə süni intellekt texnologiyası daha da inkişaf etdikcə, süni intellektin kompüter sistemlərinə inteqrasiyasının əhəmiyyətinin artmağa davam edəcəyi və bununla da onların səmərəliliyini, çevikliyini və dayanıqlılığını artıracağı gözlənilir.

### **NƏTİCƏ**

Süni intellekt texnologiyaları bugünkü kompüter sistemlərinin inkişafı və daha yüksək effektivliyinin əsas hərəkətverici qüvvəsi kimi ortaya çıxmışdır. Onların çox sayda qeydi tez və dəqiq şəkildə emal etmək qabiliyyəti əməliyyat məhdudiyyətlərini məhdudlaşdırarkən sistem performansının yaxşılaşdırılmasını təmin etmişdir. Ağıllı alqoritmlər kompüter sistemlərinin mövcud resurslardan istifadə etməkdə, daha az enerji sərf etməkdə və dəyişən ətraf mühit şəraitinə tez reaksiya verməkdə daha səmərəli işləməsinə imkan verir.

Bundan əlavə, maşın öyrənməsi sistemlərin keçmiş təcrübələri vasitəsilə davamlı olaraq böyüməsi üçün əsas təmin edəcək və bu da etibarlılığın və sabitliyin artmasına gətirib çıxaracaq. Bu özünü təkmilləşdirən xüsusiyyət zamanla daha vahid performans təmin edərkən təsadüfi səhv ehtimalını azaldır. Süni intellekt həmçinin atipik hadisələri aşkar etməklə və potensial təhdidləri geniş ziyanə səbəb olmadan proqnozlaşdırmaqla sistemlərin təhlükəsizliyini təmin etməkdə mühüm rol oynamağa davam edəcək.

Ümumiyyətlə, süni intellektin kompüter sistemlərinə təsiri transformativ olmuşdur və gələcəkdə də belə qalacaq. Süni intellekt inkişaf etməyə davam etdikcə, kompüter imkanlarında əlavə təkmilləşdirmələr, əlavə innovasiyalara dəstək və hesablama üçün daha ağıllı, effektiv və uyğunlaşa bilən mühitlərin yaradılmasını gözləyə bilərik.

## ƏDƏBİYYAT SIYAHISI

1. Boni, E. K. (2024). Exploring perceived risk and digital ethics affecting consumer experiences and decision- making in smart retailing. Brunel University London.
2. Celestin, M., Vasuki, M., Sujatha, S., & Kumar, A. D. (2024). How businesses create personalized experiences to boost customer retention: The role of technology and human interactions in customer satisfaction. *International Journal of Applied and Advanced Scientific Research*, 9(2), 75–80.
3. Davenport, T., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48, 24–42.
4. Funk, C., Tyson, A., & others. (2021). Growing share of Americans say they plan to get a COVID-19 vaccine--or already have.
5. Hopgood, A. A. (2021). *Intelligent systems for engineers and scientists: a practical guide to artificial intelligence*. CRC press.
6. Huang, M.-H., & Rust, R. T. (2021). A strategic framework for artificial intelligence in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 49, 30–50.
7. Joyce, K., Smith-Doerr, L., Alegria, S., Bell, S., Cruz, T., Hoffman, S. G., Noble, S. U., & Shestakofsky, B. (2021). Toward a sociology of artificial intelligence: A call for research on inequalities and structural change. *Socius*, 7.
8. Obiegbu, C. J., & Larsen, G. (2024). Algorithmic personalization and brand loyalty: An experiential perspective. *Marketing Theory*, 14705931241230040.
9. Rosário, A. T., & Dias, J. C. (2023). How has data-driven marketing evolved: Challenges and opportunities with emerging technologies. *International Journal*
- 10.

# МАЛАЯ ГЭС НА КАРАТОМАРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

**Жуманов Мухтар**

магистрант ОП 7М07402-«Гидротехническое строительство и сооружения»,  
Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации

Строительство малой ГЭС на Каратомарском водохранилище будет выполнена на основании технического задания. Оценка технической возможности и экономической целесообразности строительства ГЭС существующих на Верхне-Тобольском и Каратомарском гидроузлах, имеющих водохранилище многолетнего регулирования, а также возможность использования низконапорных гидроузлов (Кызылжарского, Сергеевского, Амангельдинского) в энергетических целях.

Анализ работы Верхне-Тобольского водохранилища позволили сделать следующие выводы:

- регулирование сток реки Тобол в Верхне-Тобольском водохранилище без учета компенсирующей возможности при регулировании стока в Каратомарском водохранилище, т.е. сказывается отсутствие диспетчерского графика совместной работы водохранилищ. Этим объясняется продолжительное время стояния высоких уровней воды в водохранилище выше отметки НПУ, а также большая величина весенних холостых сбросов воды из водохранилища (до 1500 м<sup>3</sup>/с), приводящие к затоплению и подтоплению в нижнем бьефе гидроузла объектов водного хозяйства;

- регулирование стока в водохранилище следует производить, по возможности избегая форсировки уровней воды над НПУ и создавая возможность увеличенной отдачи воды для ГЭС.

В результате сопоставление четырех вариантов по выработке электроэнергии, основным объемом работ и сложности производства работ, был принят вариант – Верхне-Тобольской ГЭС с водозабором в правом водосливном пролете и диаметром турбинного водовода 1600 мм.

Ниже приводятся основные показатели проекта.

## **Паспорт проекта**

Наименование сооружения – Верхне-Тобольское водохранилище;

Местоположение - Костанайская область, район Б. Майлина, 5 км западнее г. Лисаковска;

Водохозяйственный бассейн – Тобол-Торгайский Бассейн;

Кадастровый номер - 3365038, 12-187-036-001;

Назначение сооружения - Производственное и хозяйственно-питьевое водоснабжение Лисаковского горно-обогатительного комбината (ЛГОК) и г.

Лисаковска, для водоснабжения питьевой водой сельских населенных пунктов района Б. Майлина, орошение- 1216 га;

Техническое состояние – Неудовлетворительное, ведутся работы;

Водоисточник - р. Тобол;

Вид регулирования - Многолетнее;

Объем - НПУ-816,6 млн. м<sup>3</sup>

УМО-35,71 млн. м<sup>3</sup>;

Годовой объем сброса (на 2023 г.) – 78 млн. м<sup>3</sup>, минимальный - 1,1 м<sup>3</sup>/с, макс. – 17,0 м<sup>3</sup>/с;

Перепад – 8 м

Компания – Инициатором Проекта является РГП «Казводхоз» «Технико-Экономические предложения (ТЭП) строительства ГЭС на существующих Верхне-Тобольском и Каратомарском гидроузлах на реке Тобол Костанайской области» имеется.

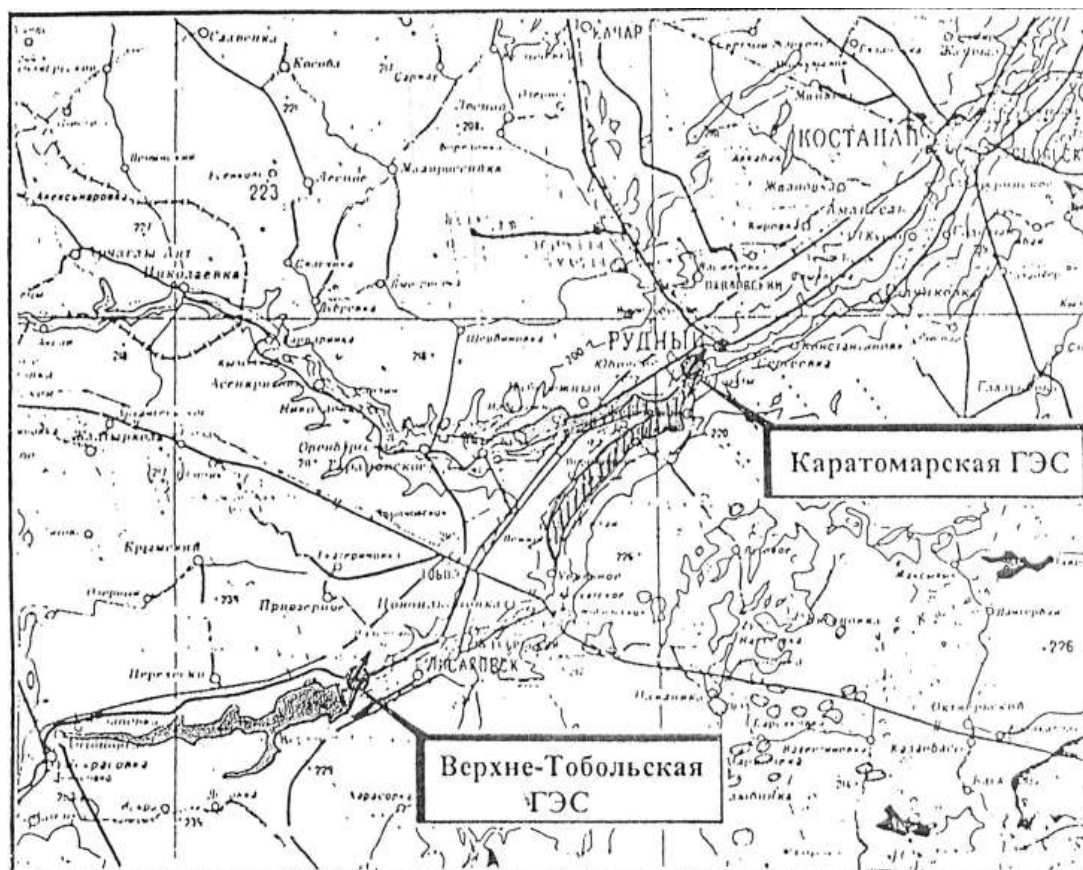


Рис.1 – Ситуационная схема

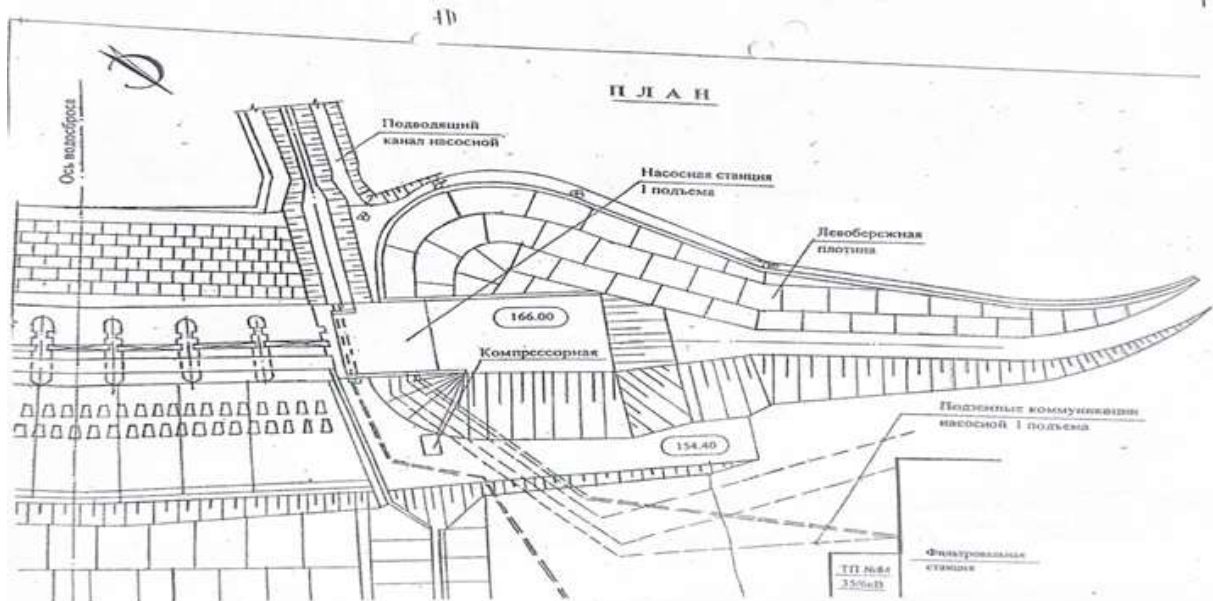


Рис.2 – План гидроузла

Таблица 1 – Расходы воды в Верхне-Тобольском и Каратомарском водохранилищах

| №        | Наименование ГТС  |      | месяцы   |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |
|----------|-------------------|------|----------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
|          |                   |      | 2024 год |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |
|          |                   | м³/с | январь   | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
| 1        | Верхне-Тобольское |      | 1,1      | 1,1     | 4,7  | 320    | 6   | 14   | 15   | 18     | 3,6      | 1,1     | 1,1    | 1,1     |
| 2        | Каратомарское     |      | 3        | 3       | 23   | 530    | 13  | 20   | 250  | 30     | 45       | 33      | 5      | 5       |
| 2025 год |                   |      |          |         |      |        |     |      |      |        |          |         |        |         |
| 1        | Верхне-Тобольское | м³/с | 1,1      | 1,1     | 1,1  | 15     | 1,1 | 1,1  | 1,1  | 1,1    | 1,1      | 1,1     | 1,1    |         |
| 2        | Каратомарское     |      | 5        | 5       | 3    | 3      | 8   | 8    | 8    | 8      | 5        | 3       | 3      |         |

**Примечание:** Сбросные расходы указаны в среднем значении за месяц. 2024 год был многоводным, сброс производился в большом количестве, также в летне-осеннее время попуск осуществлялся для создания свободной емкости на водохранилищах к предстоящему паводковому периоду.

Гидроэлектростанции малой мощности обладают целым рядом преимуществ, которые делают это оборудование все более популярным. Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность мини ГЭС – критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые гидроэлектростанции не возникает вредного влияния ни на свойства, ни на качество воды. Акватории, где устанавливается гидроэлектростанция малой мощности, можно использовать как для рыбохозяйственной деятельности, так и в качестве источника водоснабжения населенных пунктов. Кроме того, для работы малых ГЭС нет необходимости в наличии больших водоемов. Они могут функционировать, используя энергию течения небольших рек и даже ручьев.

Что касается экономической эффективности, то и здесь у микро и мини гидроэлектростанций есть немало преимуществ. Станции, разработанные с учетом современных технологий, отличаются простой в управлении, они полностью автоматизированы. Таким образом, оборудование не требуют присутствия человека. Специалисты отмечают, что и качество тока, вырабатываемого малыми ГЭС, соответствует требованиям ГОСТа как по напряжению, так и по частоте. При этом, мини ГЭС могут действовать как автономно, так и в составе электросети.

Говоря о малых гидроэлектростанциях, стоит отметить и такое их преимущество, как полный ресурс их работы, который составляет не менее 40 лет. Ну а главное - объекты малой



энергетики не требуют организации больших водохранилищ с соответствующим затоплением территории и колоссальным материальным ущербом.

#### 1. Общие сведения о гидроэлектростанциях

Целью данного исследования является проведение Технико-экономического обоснования для строительства малых ГЭС. Малые ГЭС представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающих электроснабжение различных по своей структуре потребителей, в соответствии с их требованиями. Состав сооружений, их конструкция и компоновка, количество и тип основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов комплексного использования гидроэнергетических ресурсов и обеспечения экологической безопасности функционирования объектов.

По своему назначению, режиму работы и расположению в общей схеме электроснабжения потребителей, малые ГЭС подразделяются на системные и автономные. Вопрос использования малых ГЭС в энергосистеме имеет основное значение при обосновании экономической целесообразности строительства малых ГЭС. Эффективно использование малых ГЭС в местных энергосистемах, где они выполняют функцию суточного или недельного регулирования, а иногда используется для регулирования частоты тока в сети.

Автономные малые ГЭС используют гидроэнергоресурсы малых водотоков и строятся для электроснабжения потребителей, удаленных от энергосистемы. Для таких ГЭС определяющим являются их сравнительно низкая стоимость, высокая надежность и малые эксплуатационные затраты. Эффективность строительства автономных малых ГЭС определяется путем сравнения затрат на их создание с затратами на альтернативные варианты электроснабжения по длинным линиям электропередач или с использованием дизельных электростанций. Автономные малые ГЭС предназначены для работы на изолированного потребителя самостоятельно или параллельно с другими электрическими станциями малой мощности, такими как дизельные, ветровые, солнечные. В этом случае создается автономный миниэнергокомплекс и эффективность работы малой ГЭС повышается [6].

Одним из основных признаков классификации гидроэлектростанций является установленная мощность ГЭС. Согласно этой классификации ГЭС делят на пять категорий:

- крупные ГЭС - мощность от 10 МВт и выше;
- малые ГЭС - мощность от 1 до 10 МВт;
- мини-ГЭС - мощность от 100 кВт до 1 МВт;
- микро ГЭС - мощность менее 100 кВт.

Верхняя граница мощности малой ГЭС в разных странах оценивается по-разному. В разных странах верхняя граница мощности малых ГЭС колеблется от 1,5 до 30 МВт. Кроме перечисленных ГЭС необходимо выделить еще одну категорию — мобильные ГЭС. Эта категория ГЭС включает в себя бесплотинные, рукавные, свободно-поточные, переносные и другие типы ГЭС компактного и блочного исполнения.

По напору ГЭС делятся на низко- (3-25 м.), средне- (25-60 м.) и высоконапорные (более 60 м.).

Строительство ГЭС малой мощности осуществляется по трем известным схемам, позволяющим создать сосредоточенный напор: плотинная, деривационная и комбинированная (плотиннодеривационная).

Плотинная схема создания напора - это наиболее распространенная схема использования гидроэнергетического потенциала малых водотоков. Особое влияние на тип и компоновку сооружений, образующих гидроузлы, играет величина напора и место расположения здания ГЭС. По этим признакам различают два основных варианта компоновки ГЭС: русловые и приплотинные.



При деривационной схеме высота плотины может быть небольшой, обеспечивающей лишь отвод воды из реки в деривацию. На ГЭС малой мощности с безнапорной деривацией вода транспортируется по безнапорному водопроводящему тракту, обычно по открытым каналам или лоткам. При пересеченном или горном рельефе местности, деривацию можно выполнить в виде туннеля, прорезывающего горный массив, или в виде трубопровода, уложенного по поверхности земли [6].

Малые ГЭС, по сравнению с крупными и средними, оказывают существенно меньшее влияние на окружающую природную среду, позволяют использовать унифицированные строительные конструкции, а также обеспечить полную автоматизацию процесса эксплуатации [3].

К общим достоинствам ГЭС можно отнести:

- постоянная естественная возобновляемость энергоресурсов
- низкая себестоимость электрической энергии;
- длительный срок службы, до 50 лет;
- меньшие эксплуатационные затраты;
- генераторы ГЭС можно достаточно быстро включать и выключать в зависимости от графика нагрузки;

- отсутствует загрязнение воздуха

В качестве недостатков малых ГЭС можно отметить такие, как:

- резкое сокращение водного стока в зимний период (вплоть до полного прекращения из-за промерзания реки);
- значительные удельные капитальные вложения;
- длительные сроки строительства;
- большие удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности [2].

Сооружения гидроэлектростанции мощностью 1,3 МВт представляется вполне эффективным мероприятием. Немаловажно, что на ГЭС более низкие, чем на ТЭС приведенные затраты, а, следовательно, и более низкая стоимость электроэнергии.

К преимуществам ГЭС можно отнести: отсутствие загрязнения воздуха, постоянную естественную возобновляемость энергоресурсов, низкую себестоимость электрической энергии, длительный срок службы, небольшие эксплуатационные затраты, манёвренность генераторов ГЭС.

В качестве недостатков малых ГЭС можно отметить такие, как: резкое сокращение водного стока в зимний период (вплоть до полного прекращения из-за промерзания реки), значительные удельные капитальные вложения, длительные сроки строительства, большие удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности.

Также в заключение, можно сказать, что современная гидроэнергетика, особенно при использовании энергии небольших водотоков, является не только одним из наиболее экономичных, но и еще и экологически чистых способов получения электроэнергии. В связи с этим государственная программа строительства гидроэлектростанций стимулирует интерес компаний с иностранным капиталом к возведению ГЭС на территории Казахстана.

## Литература

1. Техничко-экономические предложения (ТЭП) строительства ГЭС на существующих Верхне-Тобольском и Каратомарском гидроузлах на реке Тобол Костанайской области. Пояснительная записка с чертежами. 10-2000-Т1. - Алматы, 2000. – 144 с.
2. Водный кодекс Республики Казахстан. Обновленный. Кодекс Республики Казахстан от 9 апреля 2025 года № 178-VIII ЗРК.
3. «Положение по подготовке и защите магистерской диссертации, магистерского проекта. ТарГУМ.Х.Дулати от 21.01.2021 г. РАЗРАБОТАН Рабочей группой НАО «Университет Дулати».
4. Розанов Н.Г. Гидротехнические сооружения. - М.: Агропромиздат, 1989. – 432 с.
5. Замарин Е.А. Проектирование гидротехнических сооружений. М. Сельхозгиз, 1961. -325 с.
6. СП РК 3.03-112-2014 - «Гидротехнические сооружения речные. Нормы проектирования».

# НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ АКВЕДУКА И ОТСТОЙНИКА

**Инкарбеков Нурлан Омаралиевич**

к.т.н., Профессор кафедры «Архитектура и строительное производство», НАО  
«Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации»

В Республике Казахстан интенсификация водного хозяйства на базе мелиорации земель получила широкое развитие. Оросительные системы, включающие гидротехнические сооружения и оросительную сеть, в результате эксплуатации которых могут возникнуть проблемы, связанные с конструкциями и архитектуры гидротехнических сооружений. Мы ниже представляем несколько новых конструкций гидротехнических сооружений применяемых в водном хозяйстве, полученные учеными Казахского национального университета водного хозяйства и ирригации.

Первое изобретение относится к области гидротехнических сооружений и строительства, а именно водопроводящим сооружениям для подачи воды к местам ее потребления, устраиваемые для транспорта воды на участках пересечения каналов с естественными и искусственными препятствиями, встречающимися по трассе канала.

Акведук — гидротехническое сооружение в виде водовода для подачи воды самотёком (без дополнительных приспособлений) к местам её использования из расположенных выше природных источников. Также акведуком называют надземную часть водовода в виде моста над оврагом, дорогой, рекой или долиной. Слово происходит от двух латинских корней: aqua — «вода», и ducō — «вести». Латинское aquaeductus означало буквально «водопровод».

Некоторые современные примеры акведуков:

**Акведук Лос-Анджелеса.** Протяжённость сооружения — более 800 километров. Акведук был построен в 1970-х годах для транспортировки воды из северной Калифорнии в южные районы, включая Лос-Анджелес.

**Система акведуков Тежу-Сегура в Испании.** Открыта в 1979 году, транспортирует воду на 286 километров с севера на юг.

**Акведук в Новой Зеландии.** Построен в конце XIX века для доставки воды и гидроэнергетики примерно в 50 километрах от реки Вайтаки в Куроу до прибрежного города Оамару.

**Акведук Сиднея.** Система водоснабжения города включает в себя несколько акведуков и резервуаров, которые обеспечивают Сидней водой из окружающих водоёмов.

**Магдебургский водный мост в Германии.** Построен в 2003 году, является одним из самых важных транспортных узлов страны.

**Акведук Понткисиллте в Великобритании.** Судоходный мост, расположенный на северо-востоке Великобритании над долиной реки Ди. Высота акведука — 38 метров, а пропускная способность — 15 000 судов в год.

**Бельгийский акведук Pont du Sart.** Сооружён над автомагистралью, длина акведука — 498 метров, а вес — порядка 65 тысяч тонн.

Для строительства акведуков в разные периоды и в зависимости от элементов конструкции использовали различные материалы.

В Древнем Риме для возведения акведуков применяли камень, кирпич, терракоту и бетон. В качестве связующих использовали гипс и негашёную известь, в качестве заполнителя - туф. Для коротких переходов или разветвлений применяли трубы из свинца.

В современном строительстве акведуков используют, например, высокопрочный бетон, арматурную сталь и полимерные покрытия для защиты от коррозии. Также применяют «умные» материалы, которые меняют свойства в зависимости от нагрузки.

Таким образом, в разных случаях для строительства акведуков могут использоваться, например, такие материалы:

Основной канал - камень, бетон, металл и др.;

Опоры - кирпич, камень, железобетон;

Водосборник - бетон, кирпич.

Изучив материалы по акведукам, мы решили сравнить. Известен акведук, включающий входной и выходной части, и водопроводящий лоток [1] работающий как канал, с равномерным движением.

Акведук прост по конструкции, но у него есть небольшой недостаток. Если акведук работает при малом напоре, наносы постепенно оседают в водопроводящем лотке. Из-за этого площадь живого сечения лотка уменьшаться, уменьшается и пропускная способность акведука, и даже акведук может выйти из строя.

Известен акведук [2] состоящий из входной и выходной частей, водопроводящего лотка. Их устраивают, если габарит дороги, уровень воды пересекаемого канала или реки ниже пролетного строения акведука. Опоры акведуков делают аналогично опорам, применяемым в мостостроении. По существу это мосты, у которых пролетным строением служит лоток, заполненной текущей водой. Конструкция акведука должна обеспечивать плавное сопряжение входной части его с каналом как в плане, так и в вертикальной плоскости. Скорость воды в акведке назначают несколько большую, чем в примыкающих к нему каналах, чтобы не допускать осаждение в лотке наносов. Недостатком таких акведуков является то, что при малых разностях напоров в верхнем и нижнем бьефах сооружений наносы, поступающие в лоток оседают на водопроводящей части, что уменьшает поперечное сечение лотка и в конечном счете расход акведука. Была поставлена задача: обеспечить (при равномерном движении) незаиляемость и пропускной расход водопроводящего лотка акведука при малой разности напоров в верхнем и нижнем бьефах сооружений.

Технический результат достигается путем выполнения продольных шероховатостей в виде глухих бетонных труб в три ряда (один по оси лотка) на дне по всей длине водопроводящего лотка акведука.

Сущность предполагаемого изобретения заключается в том, что водопроводящий лоток выполняется в виде продольных шероховатостей в виде глухих бетонных труб на дне по всей длине лотка. Из-за стеснения потока воды с двух сторон, в лотке будет незаметное вихревое движение на дне, при котором равномерное движение соблюдается, а скорость воды может увеличиться по сравнению с прямоточным потоком, это устраняет нежелательное осаждение наносов.

Акведук, состоящий из входной и выходной части, и водопроводящего лотка, отличается тем, что водопроводящий лоток выполняется в виде продольных шероховатостей в виде глухих бетонных труб на дне по всей длине лотка.

Для детального изложения сущности изобретения, ниже приведена схема предполагаемого акведука.

Предлагаемое устройство (рис.1) состоит из входящей части 1, водопроводящего лотка 2, продольных шероховатостей в виде глухих бетонных труб на дне по всей длине лотка 3, выходной части 4 [3].

Акведук работает следующим образом. Подводящий поток воды заходит к входной части 1. Вода подводящая, входит водопроводящий лоток 2, где расположены продольные шероховатости 3 в виде глухих бетонных труб на дне по всей длине лотка. Из-за стеснения

потока воды с двух сторон в каждом из отсеков, на дне лотка будет незаметное вихревое движение, при котором равномерное движение соблюдается на поверхности течения, а скорость воды может увеличиться из-за стеснения по сравнению с прямоточным потоком, это устраняет нежелательное оседание наносов на водопроводящем лотке. В водопроводящем лотке 2 вода с наносами закручивается под действием разности напоров и из-за продольного расположения шероховатости 3 в виде глухих бетонных труб. Известно что, при малых напорах расход закрученного потока больше прямоточного потока. Благодаря закрученности потока на дне лотка, накопление наносов не образуются. Увеличится пропускная способность акведука и в целом водопроводящий лоток 2 не заиливается. Это позволяет обеспечить незаиляемость акведука при пропуске малых расходов.

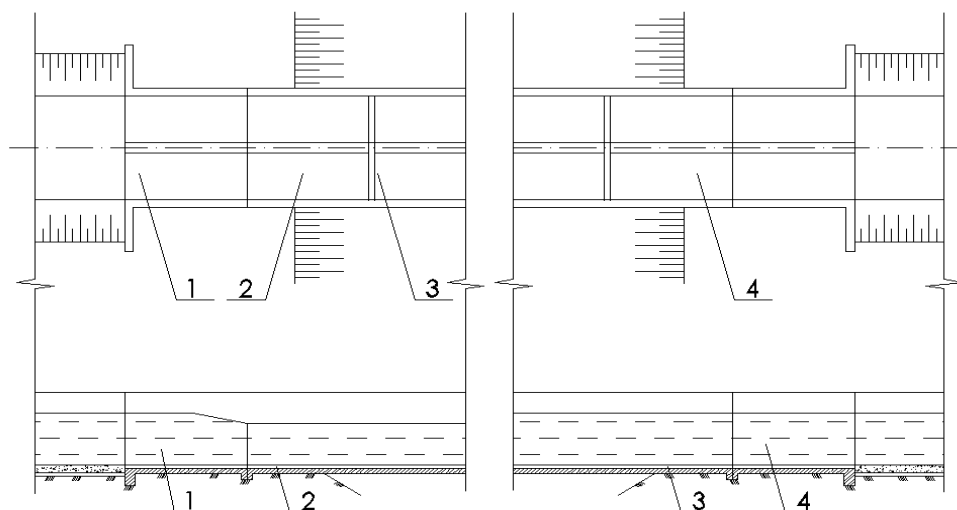


Рисунок 1 - Акведук

Второе изобретение, называемая как полезная модель, относится к речным гидротехническим сооружениям, в частности к устройствам, для поэтапной очистки потока наносов: гравелисто-песчаных наносов с помощью головных отстойников, как правило, с гидравлическим промывом и от более мелких частиц – отстойниками, расположенными на каналах системы, предназначенному для захвата и отвода донных наносов.

Известен отстойник с периодическим промывом [4, с.288-290, рис. 4.53.]. При расположении отстойника в составе гидроузла вход в него осуществляется через оголовок, конструкция которого определяется типом водозабора. Число отверстий входного оголовка обычно равно числу камер отстойника. Для создания винтового течения, повышающего транспортирующую способность пульповода, в плане ему придают 2-3 излома с внутренними углами  $120-140^\circ$ . Общими недостатками вышеперечисленных отстойников являются: в подводящее русло из реки попадает значительное количество донных наносов, которые затем завлекаются в канал. Донная сборная галерея также быстро забивается наносами, особенно их начальные участки.

Известен криволинейный отстойник непрерывного действия конструкции И.К.Никитина [4, с.283-285, рис. 4.50.]. В этом отстойнике для борьбы с наносами используется поперечная циркуляция, возникающая на изгибе потока. Отстойник применяют для защиты каналов от песчаных и гравелистых наносов. Камеру отстойника выполняют в виде изогнутого участка бетонированного канала с поворотом оси на  $90^\circ$  радиусом, равным  $4B$ , где  $B$  – ширина сооружения по дну. Вдоль выпуклого откоса в пределах криволинейного участка устраивают входные отверстия промывных галерей. Сбросную траншею (коллектор) устраивают переменного по длине сечения.

Вместе с тем, у этого отстойника также имеются недостатки. В частности, пульповод не должным образом обеспечивает беспрепятственный прием, транспортировку и сброс в нижний бьеф гидроузла всех наносов, поступающих из отстойной камеры через галерей и не имеет соответствующей транспортирующей способности, а также перед промывными отверстиями накапливаются донные наносы очень мелкой фракции.

Задачей настоящего изобретения являлся усовершенствование и упрощение конструкции устройства, повышение эффективности его работы.

Поставленная задача решается за счет того, что для гарантии надежной и устойчивой защиты водоприемника-камеры от донных наносов на всех режимах реки в состав предлагаемой схемы отстойника введен наносоперехватывающее устройство, включающий пульповод и устройство для захвата наносов в виде галерей с продольными приемными щелевыми отверстиями, расположенными перпендикулярно к пульповоду, работающий как, промывной коллектор [5].

Требуемый результат достигается путем устройства к пульповоду пескогравиеловки, для захвата наносов галереями с продольными щелевыми отверстиями, расположенными в водоприемнике-камере и примыкающими к пульповоду со стороны камеры.

На рис.2 приведен план отстойника непрерывного действия, на рис.2 разрез I-I на рис.1. Отстойник непрерывного действия состоит из камеры-водоприемника 1, пульповода 2 с некоторым уклоном в сторону сбросного канала 3, тангенциальной вертикальной трубы 4 приваренный к пульповоду и галерей 5 с продольными приемными щелевыми отверстиями, расположенные в водоприемнике-камере и примыкающими к пульповоду со стороны камеры [5].

Отстойник непрерывного действия работает следующим образом.

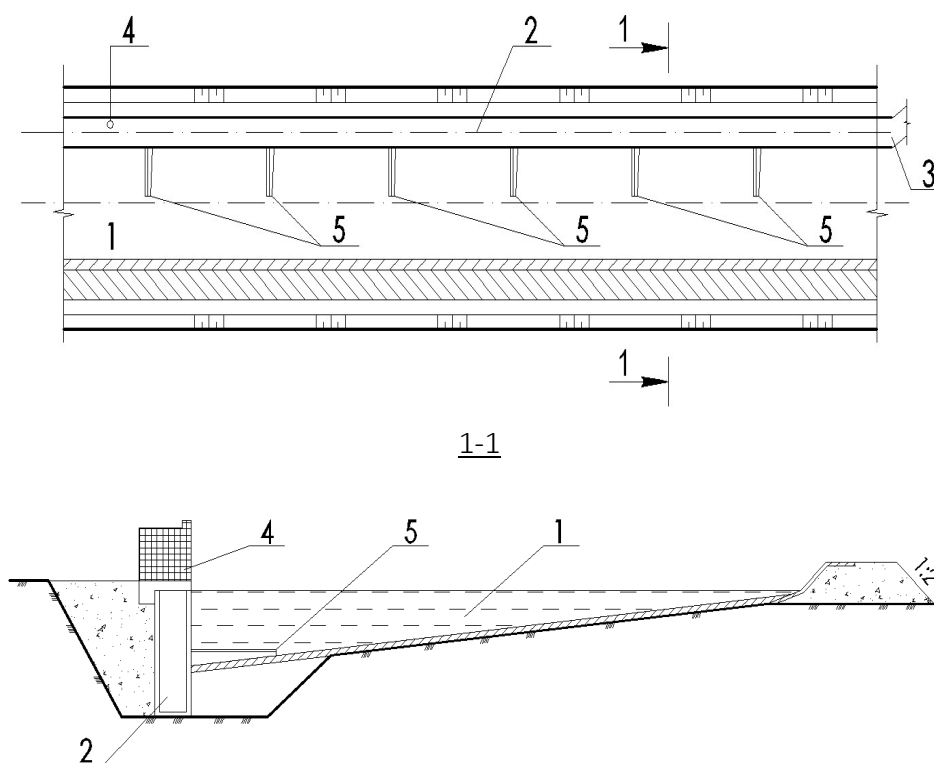


Рисунок 2 - Отстойник непрерывного действия

Устройство наносозахватывающих галерей 5 с продольными щелевыми отверстиями расположенные в водоприемнике-камере 1 позволит пропустить более мелкие наносы не заваливая продольные щели, а установка к пульповоду 2 тангенциальной вертикальной трубы 3 позволит за счет тангенциального поступления воды дополнительно закручивать

основной поток поступающей из наносоперехватывающих галерей в одном направлении. В начальной части и по всей длине пульповода 2 осаждение наносов не происходит и вся пульпа выходит в сбросной канал 3 и далее сбрасывается обратно в реку или естественные понижения местности [5].

А также, нами рекомендуется, как полезная модель, рыбопропускное сооружение, относящиеся к речным гидротехническим сооружениям, а именно к устройствам для пропуска рыбы из одного бьефа гидроузла в другой.

Цель полезной модели - усовершенствование и упрощение конструкции устройства, повышение эффективности привлечения рыб в рыбонакопитель.

Поставленная задача может быть решен за счет того, что для гарантии надежной и устойчивой работы рыбопропускного сооружения, их делают лестничными в виде ступенчатых лотков. Они состоят из отдельных бассейнов следующих размеров: ширина – 1,2...13,5, длина – 2...2,5м, глубина воды – 1,2...1,75м, перепад – 0,3-0,5м для осетровых и сазановых и 0,15...0,25м для судака, марийнка, карась и т.д. В поперечных стенках, разделяющих бассейны, устраивают вливные отверстия, которые располагают поочередно то у правой, то у левой стенок (для осетровых – у дна, для сазанов – у поверхности). Размеры отверстий от 0,2х0,3 до 1х1,5м. А также для повышения эффективности привлечения рыб, дополнительно с обеих сторон ступенчатых лотков делают транзитную часть в виде быстотока. Это делается для рыб больших размеров, которые привыкли самостоятельно выбираться по гладкой поверхности вверх.

Новые конструкции акведука обеспечивает (при равномерном движении) незаияемость и пропускной расход водопродящего лотка акведука при малой разности напоров в верхнем и нижнем бьефах сооружений и отстойник непрерывного действия обеспечивает захват наносов галереями с продольными щелевыми отверстиями, расположенными в водоприемнике-камере и примыкающими к пульповоду со стороны камеры.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волков И.М., Кононенко В.П., Федичкин И.К. Гидротехнические сооружения. – М., изд-во «Колос», 1968, с.79-81.
2. Гидротехнические сооружения под ред. Н.П.Розанова – М., изд-во «Агропромиздат», 1985, с.243-244.
3. Джолдасов С.К., Инкарбеков Н.О. и др. Акведук. Полезная модель №2170 от 24.03.2016г.
4. Лапшенков В.С. и др. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям. М.: Агропромиздат, 1989.
5. Джолдасов С.К., Кожамжарова Л.С. Отстойник непрерывного действия. Полезная модель №2163 от 24.03.2016г.



# ЕСИЛЬСКИЙ КОНТРРЕГУЛЯТОР НА РЕКЕ ЕСИЛЬ В АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Макущенко Игорь**

магистрант ОП 7М07402-«Гидротехническое строительство и сооружения»,  
Казахский Национальный университет водного хозяйства и ирригации

## **Основная компоновка гидроузла Есильского контррегулятора**

Выбор створа и компоновки сооружений Есильского контррегулятора продиктован топографическими особенностями долины реки Есиль, гидрологическим режимом (необходимостью пропуска высоких весенних паводков) и инженерно-геологическими условиями строительной площадки. Долина реки Есиль в расчетном створе представляет собой аккумулятивную ступенчатую террасированную равнину с абсолютными отметками поверхности 220-250 м.

Оптимальным вариантом признана комплексная компоновка гидроузла руслового типа. В состав основных гидротехнических сооружений контррегулятора входят (рис.1):

1. Глухая земляная плотина (дамба), перекрывающая основное русло и пойму.
2. Паводковый водосброс (водослив с широким порогом), предназначенный для сброса трансформированных паводковых вод.
3. Донный водовыпуск для обеспечения санитарных пропусков, опорожнения водохранилища и сброса полезного объема в меженный период.
4. Комплекс защитных дамб и каналов спрямления русла (Двуречный, Ушкарасу, Отрадное) для оптимизации гидравлических режимов потока в нижнем бьефе и защиты прилегающих территорий от подтопления.

В соответствии с проведенными водохозяйственными расчетами и оценкой трансформирующей способности водохранилища, наиболее целесообразным и экономически выгодным принят вариант с Нормальным Подпорным Уровнем (НПУ) на отметке 231,0 м БС. При данной отметке полный объем контррегулятора достигает 833 млн. м<sup>3</sup>, что позволяет эффективно аккумулировать паводковый сток и гарантированно срезать пики половодий.

## **Обоснование типа и конструкции грунтовой плотины**

Конструкция грунтовой плотины выбрана с учетом наличия местных строительных материалов и физико-механических свойств грунтов основания. Согласно результатам инженерно-геологических изысканий, в основании плотины залегают аллювиальные отложения: суглинки (ИГЭ-1), пески (ИГЭ-4) и галечники (ИГЭ-5), подстилаемые комплексом глинистых грунтов (ИГЭ-7) и скальными породами (песчаники ИГЭ-9).

В качестве основного профиля принята грунтовая плотина из местных материалов с противифльтрационным элементом в виде центрального ядра или наклонного экрана из связных грунтов.

**Тело плотины:** Для отсыпки упорных призм целесообразно использовать крупнообломочные и песчаные грунты (ИГЭ-4, ИГЭ-5) из полезных выемок котлованов водосбросных сооружений и каналов спрямления. Коэффициент фильтрации песков ИГЭ-4 составляет 12 м/сут, что обеспечивает хороший дренаж тела плотины и устойчивость откосов.

**Противофильтрационный элемент:** Для обеспечения водонепроницаемости плотины проектом предусматривается устройство ядра из озерно-аллювиальных глин (ИГЭ-7) или суглинков (ИГЭ-1). Глинистые грунты ИГЭ-7 характеризуются крайне низкой

водопроницаемостью (коэффициент фильтрации 0,001 м/сут) и высокой пластичностью (число пластичности 17,1), что делает их идеальным материалом для противофильтрационного барьера.

**Сопряжение с основанием:** Для предотвращения фильтрации в обход плотины через сильнопроницаемые галечниковые (ИГЭ-5,  $K_f = 30$  м/сут) и песчаные слои основания, ядро плотины должно сопрягаться с водоупором посредством зуба или глубокой траншеи, доведенной до плотных глин ИГЭ-7 или скальных пород ИГЭ-9.

**Защита откосов:** Учитывая, что район строительства относится к IV ветровому району с базовой скоростью ветра 35 м/с (нормативное давление 0,77 кПа), возникает риск значительного волнового воздействия на верховой откос. Проектом предусматривается крепление верхового откоса монолитными железобетонными плитами или сортированным камнем (горной массой) по обратному фильтру. Низовой откос укрепляется посевом многолетних трав по слою растительного грунта для предотвращения ветровой и водной эрозии.

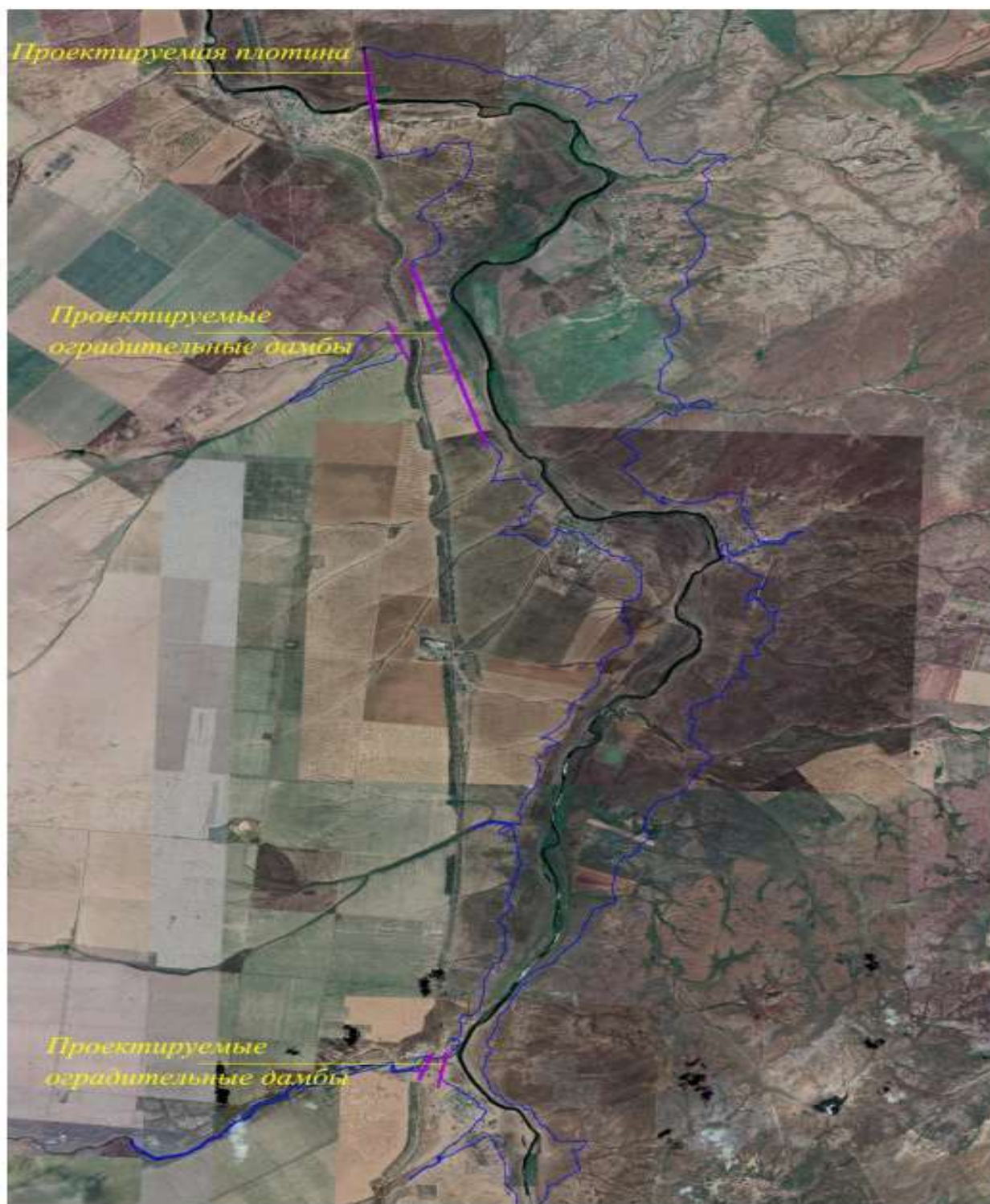


Рис. 1 - Ситуационная карта-схема проектируемого контррегулятора  
**Паводковое водосбросное сооружение (Водослив с широким порогом)**

Ключевым узлом контррегулятора, обеспечивающим безопасность всего гидроузла в период прохождения весеннего половодья, является паводковый водосброс. Конструктивно он решен в виде открытого железобетонного водослива с широким порогом, перекрываемого плоскими колесными или сегментными затворами. Ширина пролетов водослива принята равной 16 м. Общий фронт водоброса рассчитывается исходя из необходимости пропуска максимального расхода воды поверочной (0,01%) обеспеченности.

Согласно проведенным расчетам трансформации паводка для принятого варианта НПУ 231,0 м БС:

Приток 1% обеспеченности составляет 5315 м<sup>3</sup>/с. Сбросной расход через водослив составит 2686,8 м<sup>3</sup>/с, при этом максимальная отметка форсировки достигнет 231,0 м.

Приток 0,1% обеспеченности (расчетный для сооружений I класса) составляет 8243 м<sup>3</sup>/с. Трансформированный максимальный сбросной расход равен 4468,8 м<sup>3</sup>/с, а уровень воды в контррегуляторе поднимется до отметки ФПУ 232,5 м БС, задействовав форсированный объем 1062,5 млн. м<sup>3</sup>.

**Гашение энергии потока:** Сброс столь значительных расходов (более 4000 м<sup>3</sup>/с) обуславливает формирование мощного водного потока с высокими удельными кинетическими энергиями. Для предотвращения размыва русла нижнего бьефа за водосливом проектируется железобетонный водобойный колодец. Длина и глубина водобойного колодца определяются гидравлическим расчетом на сопряжение бьефов по схеме затопленного гидравлического прыжка. За водобойным колодцем устраивается рисберма из тяжелых бетонных массивов или габионных конструкций, плавно переходящая в неукрепленное русло реки.

#### **Антикоррозийная защита и требования к материалам (Химическая агрессивность грунтов)**

Особое внимание при проектировании железобетонных конструкций водосброса и донного водовыпуска уделено защите строительных конструкций, так как химические анализы «водной вытяжки» грунтов показали их высокую агрессивность.

По данным изысканий, грунты в створе плотины и на участках защитных дамб содержат повышенное количество сульфатов и хлоридов. Нормативное содержание ионов SO<sub>4</sub> в створе плотины достигает 1297,5 – 1930,0 мг/кг, что по СП РК 2.01-101-2013 оценивается как сильноагрессивная среда для бетонов на обычном портландцементе (марки W4). Нормативное содержание хлоридов (Cl) достигает 1105,0 - 1617,5 мг/кг, что является сильноагрессивной средой для стальной арматуры железобетонных конструкций.

На основании этих данных, для всех соприкасающихся с грунтом и водой монолитных железобетонных конструкций (флютбет водослива, устои, бычки, водобойный колодец) проектом жестко регламентировано применение специализированного сульфатостойкого портландцемента (с содержанием в клинкере СЗА не более 7%). Для защиты арматуры должны применяться ингибиторы коррозии, первичная (увеличение защитного слоя бетона) и вторичная (обмазочная гидроизоляция) защита поверхностей.

#### **Инженерная подготовка русла: спрямления и защитные дамбы**

Для обеспечения беспрепятственного отвода сбрасываемых через водосброс паводковых расходов и снижения кривой подпора в нижнем бьефе, проектом предусмотрено спрямление естественного русла реки Есиль и ее рукавов на участках Двуречный, Ушкарасу и Отрадное. Спрямление русла позволяет увеличить пропускную способность живого сечения, снизить шероховатость и избежать образования ледяных заторов в период весеннего ледохода.

В комплексе со спрямляющими каналами возводится защитная дамба «Двуречное». Дамба трассируется вдоль береговой линии населенных пунктов, подверженных риску затопления. Конструктивно дамба выполняется из местных суглинистых грунтов с заложением откосов, обеспечивающим их статическую устойчивость при быстром спаде уровней паводковых вод.

Организация строительства Есильского контррегулятора разработана в соответствии с требованиями СН РК 1.03-00-2011 «Строительное производство. Организация строительства предприятий, зданий и сооружений» и СН РК 1.03-02-2014 «Нормы



продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений».

Специфика организации работ жестко детерминирована резко континентальным климатом района строительства (климатический подрайон IV). Согласно климатической справке по метеостанции Аркалык, амплитуда температур крайне высока: абсолютно максимальная температура воздуха достигает  $+42,4^{\circ}\text{C}$ , а абсолютно минимальная опускается до  $-43,2^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  составляет 159 суток. Нормативная глубина промерзания для суглинков и глин составляет 1,43 м. Залегание устойчивого снежного покрова длится 133 дня при максимальной высоте снежного покрова до 144,0 см.

Учитывая данные факторы, строительно-монтажные работы (СМР) разделены на подготовительный и основной периоды.

**Подготовительный период** включает устройство подъездных путей, создание временной строительной базы, расчистку территории от древесно-кустарниковой растительности, снятие почвенно-растительного слоя (ИГЭ-1) и организацию временного энерго- и водоснабжения. Снятие почвенно-растительного слоя средней мощностью 0,2 м производится бульдозерами с перемещением во временные отвалы (кавалеры) для последующей рекультивации нарушенных земель и озеленения низового откоса плотины.

Учитывая глубокое промерзание грунта (до 1,57 м), основные объемы земляных работ по выемке грунта из котлованов под бетонные сооружения и устройство зуба плотины планируется выполнять в теплое время года (с апреля по октябрь).

#### **Земляные работы и механизация разработки грунтов**

Возведение грунтовой плотины и устройство каналов спрямления (Двуречный, Ушкарасу, Отрадное) сопряжены с перемещением значительных объемов земляных масс. Выбор ведущих землеройных машин (одноковшовых экскаваторов) осуществлен на основе классификации грунтов по трудности разработки (согласно ЭСН РК 8.04-01-2015). В пределах строительной площадки и карьеров местных материалов выделены следующие группы грунтов по трудности разработки одноковшовым экскаватором:

**Группа 1:** Почвенно-растительный слой (ИГЭ-1) и гравелистые пески (ИГЭ-4). Данные грунты разрабатываются экскаваторами, оборудованными прямой или обратной лопатой (емкость ковша 1,0–1,5 м<sup>3</sup>), без предварительного рыхления.

**Группа 3:** Суглинки (ИГЭ-2), слагающие значительную часть поймы. Разрабатываются экскаваторами аналогичной мощности, используются в качестве материала для противофильтрационных элементов (ядра или экрана) земляной плотины.

**Группа 4 и 5:** Глины четвертичные (ИГЭ-3), щебенистые грунты (ИГЭ-8), галечниковый грунт (ИГЭ-5) и слабоцементированные глинистые грунты (ИГЭ-7). Требуют применения мощных экскаваторов (емкость ковша от 1,5 м<sup>3</sup>) и, в ряде случаев, использования тяжелых бульдозеров-рыхлителей для подготовки забоя перед экскавацией.

**Группа 7:** Скальные породы (песчаники ИГЭ-9), вскрываемые в основании водосброса. Разработка данной группы грунтов одноковшовым экскаватором неэффективна и требует применения буровзрывных работ (БВР) или тяжелых гидравлических молотов на базе экскаваторов.

Отсыпка тела плотины производится послойно. Транспортировка грунта из карьеров и выемок осуществляется автосамосвалами грузоподъемностью 15-25 тонн. Уплотнение связных грунтов (суглинков, глин) в ядре плотины производится кулачковыми катками статического или вибрационного действия при оптимальной влажности. Уплотнение гравийно-галечниковых грунтов (ИГЭ-5) в упорных призмах — тяжелыми грунтовыми виброкатками (массой 12-16 тонн).

### **Пропуск строительных расходов воды**

Одним из наиболее ответственных этапов возведения руслового гидроузла является организация пропуска речного стока в строительный период. Река Есиль характеризуется мощным весенним половодьем, на которое приходится 89-93% годового стока. Максимальный зарегистрированный расход воды достигал 4690 м<sup>3</sup>/с.

Возведение контррегулятора намечается осуществлять в две очереди (поэтапно), что позволяет избежать строительства дорогостоящих обводных туннелей или каналов:

**Первая очередь:** В русле реки отсыпаются временные перемычки (верховая и низовая), ограждающие строительный котлован под бетонный водосброс. Река в это время протекает по свободной части поймы. В огражденном котловане производятся водоотливные работы, выемка грунта, подготовка скального основания (ИГЭ-9) и возведение бетонных сооружений паводкового водосброса.

**Вторая очередь:** После завершения строительства бетонного водосброса и установки затворов, речной поток переводится (перекрывается русло) на построенные сооружения. В освободившемся основном русле возводятся перемычки, производится откачка воды, подготовка основания и отсыпка русловой части земляной плотины. Пропуск весенних паводков во время второй очереди строительства осуществляется через недостроенные секции водосброса («гребенку») или через донные отверстия с обеспечением защиты бетонных поверхностей от истирания взвешенными наносами, годовой объем которых составляет 158 154 тонн/год.

Такая схема позволяет минимизировать риски затопления строительных котлованов и обеспечивает безопасное ведение работ в течение всего нормативного срока строительства.

### **Обеспечение безопасности гидротехнического сооружения**

Безопасность гидротехнических сооружений представляет собой их свойство обеспечивать защиту жизни, здоровья, законных интересов людей, а также защиту окружающей среды от негативных воздействий. Надежная эксплуатация контррегулятора - критически важная задача для защиты населенных пунктов Акмолинской и Северо-Казахстанской областей от катастрофических паводков.

Для обеспечения бесперебойной и безопасной работы водосливной плотины, дамб и донного водовыпуска эксплуатирующей организацией (такой как Республиканское государственное предприятие «Казводхоз») должен быть реализован комплекс мер контрольно-измерительной аппаратуры (КИА):

**Фильтрационный контроль:** В теле грунтовой плотины и ее основании устанавливается сеть пьезометров для мониторинга положения депрессионной кривой и величины противодавления. Контроль суффозионных процессов осуществляется путем регулярного анализа химического состава дренажных вод (с учетом изначально высокой сульфатной и хлоридной агрессивности грунтов).

**Деформационный контроль:** На гребне, бермах плотины и бетонных массивах водосброса закладываются поверхностные и глубинные геодезические марки для фиксации осадок и горизонтальных смещений. Своевременный мониторинг позволит предотвратить аварийные ситуации и обеспечить надежное аккумулирование до 873 млн. кубометров паводковой воды.

Таким образом, принятая компоновка и конструкция гидротехнических сооружений Есильского контррегулятора полностью отвечают требованиям надежности, учитывают сложные гидрологические и инженерно-геологические условия региона и обеспечивают гарантированное выполнение поставленных задач по аккумуляции и безопасному пропуску весенних паводков.

### Литература

1. Водный кодекс Республики Казахстан. Обновленный. Кодекс Республики Казахстан от 9 апреля 2025 года № 178-VIII ЗРК.
2. «Положение по подготовке и защите магистерской диссертации, магистерского проекта. ТарГУМ.Х.Дулати от 21.01.2021 г. РАЗРАБОТАН Рабочей группой НАО «Университет Дулати».
2. Розанов Н.Г. Гидротехнические сооружения. - М.: Агропромиздат, 1989. – 432 б.
3. Замарин Е.А. Проектирование гидротехнических сооружений. М. Сельхозгиз. 1961.
4. СНиП РК 3.04-04-2006. Основания гидротехнических сооружений.
5. СП РК 3.03-112-2014 «Гидротехнические сооружения речные. Нормы проектирования».
6. СП РК 2.04-01-2017 «Строительная климатология».
7. Тургынбаева, Б.О. Контроль и оценка технического состояния плотин [Текст] / Б.О.Тургынбаева, К.Т.Султанаев // «Наука и образование: Новое время». – 2024. - № 4. – Б. 63-67.



# Қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің жағдайына жедел ғарыштық мониторинг жүргізу

**Мыңжасаров Н.С.**

магистр, «Жерге орналастыру және кадастр» БББ аға оқытушысы, Қазақ Ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз қ., Қазақстан Республикасы

Жерді қашықтан зондылау (ЖҚЗ) дегеніміз, электрлі магниттік сәуле сипаттамаларымен, жер беті күйі туралы тікелей датчиктер жер бетімен байланыссыз, алыстан өлшеулер бойынша ақпарат алуды білдіреді. Датчиктер ұшақтарға және де басқа тасушыларға орнатылуы мүмкін. Өлшенетін электрлі магниттік толқындардың диапазоны – микрометр бөлшегінен (көрінетін оптикалық сәуле) метрлерге дейін (радиотолқындар) жетуі мүмкін.

Жерді қашықтан зондылаудың заманауи жер серіктері, күрделі зияткерлік техникалық құрылғылардан тұрады, олар нысан суреті және жер бетінің аудандары бойынша командалар мен бағдарламаларды дәл және үйлесімді орындайды. Бақылау аппаратурасының негізгі бөлігі – бақылау нысандарының электрлі магниттік энергиясын фркустап, қабылдап және түрлендіру қабілеті бар арнайы қабылдау аппаратурасынан тұрады. Бақылау аппаратурасы қазіргі күні үш типтен тұрады:

фотографиялық;

оптикалық-электронды;

радиолокациялық.

Ғарыштық мониторинг технологиясы күнделікті күндізгі MODIS түсірілімдеріне (рұқсат 250 - 1000 м) сүйенеді және келесі міндеттерді шешуден тұрады:

- қар және мұз қабатының кетуінің ғарыштық мониторингі;
- тасқын суы мен су басуы өтуінің жедел ғарыштық мониторингі;
- қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің жағдайына шолулық ғарыштық мониторинг;
- ірі су қоймаларының су бетінің динамикасының ғарыштық мониторингі.

Қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің жағдайына жедел ғарыштық мониторинг жүргізу кезінде, тасқын су өтуі кезеңінде (күн сайын) түзілетін, суға көмілу аймақтарын көрсетіп, облыстың аумағында су қабатының күйіне карталар құрастырылады.

Су қоймалары бетінің толысу динамикасына мониторинг жүргізу ерекше міндет болып табылады. Мониторинг процесінде ірі су қоймаларының бетінің толысу карталары жасалады. Уақытша деректер топтамасын талдау негізінде, су қоймасының маусымдық динамикасы анықталады және бұрынғы жылдардағы су қоймасының толу динамикасымен оны салыстыру жүргізіледі.

Қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің процестері бір мезгілде жүретінін ескеріліп, бір ғана карта тұрғызылады.

Қандайда-бір нақты уақыт кезеңі үшін күнделікті деректерді талдау нәтижелері бойынша (апта, 8 күн, онкүндік, ай, маусым және т.б.) зерттелетін аумақта қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің шолулық карталары тұрғызылады.

Қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуінің жағдайына мониторинг жүргізу кезінде, төсеніш бетінің төмендегі негізгі класстары анықталады:

- мейлінше жұқа қар қабатымен көмкерілген, аумақтардан тұратын қар еру аймағы көрсетілген қар қабаты;
- қар қабаты жоқ аумақтар;
- мұзбен қапталған су нысандары;
- сумен көмілген аумақтар, олар тұрақты су нысандарынан, бетінде мұз жоқ және суға көмілген аймақтар.

Жердің төсеніш бетін сәйкестендіруге мүмкіндік бермейтін, бұлт қабатымен көмкерілген аумақтар жеке бөлініп тұрады. Қар және мұз қабатының күйі мен кетуінің және тасқын суы өтуіне ғарыштық мониторинг үш деңгейде жүргізіледі. Біріншісінде, төменгі рұқсаттағы MODIS (кеңістіктегі көрсетуі 250 м) деректері бойынша күнсайынғы талдау жүргізіледі. Төменгі көрсетілімде болғанына қарамастан, MODIS деректерінің құндылығы сонда, олар күнсайын алынады. Екінші деңгейде, түсірілуіне орай орташа рұқсаттағы деректер (мысалы, WIFS (кеңістікте көрсетілімі 70 м) үнді жерсерігінен IRS) тартылады, себебі орташа рұқсаттағы деректер әр күні алынбайды.

Үшіншісінде, радарлық деректер пайдаланылады, оның ішінде канадалық RADARSAT жерсерігінен (кеңістіктегі рұқсаты 25 м). Радарлық деректердің маңыздылығы, ірірек көрсетуінен бөлек, оларға күннің бұлт болғаны да, тәуліктің мезгілі де әсер етпейтіні. Олар бұлт көмкеріп тұрған аумақты көруге мүмкіндік береді, бұл әсіресе көктемгі жағдайларда, облыстың бар аумағы тығыз бұлтпен жабылып тұрғанда, маңызы арта түседі. Қажеттілік болғанда бұл деңгейде, жоғары және өте жоғары көрсетілімдегі оптикалық ДДЗ пайдаланылады.

Су басу мен тасқын әлеуетті қауіпін бағалау үшін, өрттер мониторингі жүйесіндегі сияқты, біртұтас ГАЖ-территориялар пайдаланылады, олар елді мекендер, жол және темір жол торабы, электр желістері, мұнай және газ құбырлары, орман массивтері, ерекше маңызды нысандар туралы және т.б. ақпараттардан тұрады. Осыларға көмілу аймағы қабаттарын қойып, қандай нысандарға қауіп төніп тұрғанын анықтауға және әлеуетті шығынды бағалауға болады.

Жедел карталардың уақытша кезектілігін талдау, ахуалдың даму динамикасын бақылауға және мейлінше қауіпті телімдерді айқындауға мүмкіндік береді.

Қар қабаты кетуінің ғарыштық мониторингі, әдетте, тасқын өтуінің бұрынғы және бастапқы кезеңдерінде жүргізіледі. ArcGIS ортасында жасалған, арнайы бағдарламалық модульдер көмегімен мониторинг жүргізу процесінде, автоматтандырылған режимде, нысандардың бес негізгі класын анықтау мақсатында MODIS (көрсетілімі 250 м) бейнелерді топтастыру іске асырылады: бұлт қабаты, қар қабаты, мөлдір су беті, бетіне мұз қатқан су беті, бетінде қары жоқ жер телімі.

Негізгі міндетті орындау үшін, қар қабатын қары жоқ жер бетінен және бұлт қабатынан айыруды жүргізу қажет. Қар қабатын қары жоқ жер бетінен айыру спектрдің көрінетін диапазонында суреттердің бұлтсыз фрагменттерінде іске асырылады. Қар және бұлт қабаттарын айыру мейлінше күрделі мәселе болып табылады, себебі, қатты бұлттылық қар қабатының шекараларын дұрыс тануға тосқауыл болады.

Бұл мақсатта RGB-синтез (346) 3, 4 және 6 каналдарындағы MODIS (көрсетілімі 500 м) пайдаланылады. Бұлттылық қабаты арнайы процедура көмегімен MODIS 20 және 31 каналдары негізінде (рұқсаты 1000 м) тексеріледі. Бұлтпен жабылып тұрған, аумақтың қар

қабаты шекарасын тексеру үшін, өткен және болатын күндерге көрінетін диапазонда MODIS суреттерінің уақытша қатарына талдау қолданылады.

Сұраулы сәттерде, мысалы, жартылай көрінер тұмандарда немесе көк түтін болған кезде, сараптамалық бағалау және қардың шекарасын қолмен түзету қолданылады. Жартылай көрінер тұмандар немесе көк түтін мен қар қабаты арасындағы принципиалды айырмашылық, көрінетін диапазонда рельефтің ұсақ сипатты бөлшектері болуы немесе жоқтығымен анықталады: өзен арналары, шағын көлдер, орман массивтері, қалалар маңында ластану іздері, ірі темір жолдары, жеке өнеркәсіп комбинаттары және т.б.

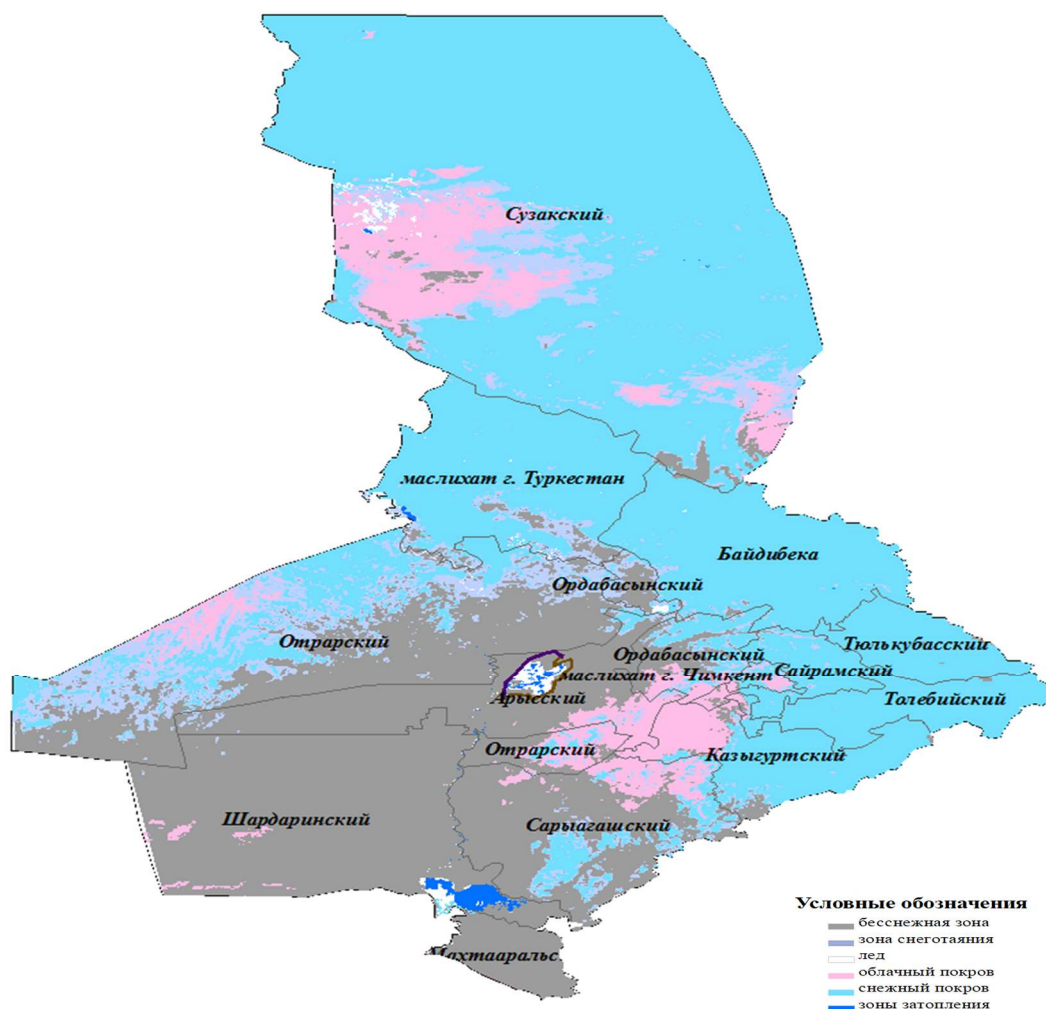
Топтастыру нәтижелері бойынша, қар және мұз қабатының ағымдағы күйін, қар қабатының кетуінің күнтізбелік мерзімі мен динамикасын көрсететін карталар тұрғызылады (сурет 8.1). Бұл ақпарат, тасқындық жағдайды болжау үшін қызығушылық танытады. Ол қар қабатының еруі басталуының мерзімдерін (ерте, қалыпты, кеш), және де оның қарқынын (жылдам, қалыпты, ақырын) бағалауға мүмкіндік береді, бұл белгілі жағдайда тасқындық ахуалды болжауға мүмкіндік береді. Дәл осы мақсатқа қарқынды қар еру аймағын анықтау да қызмет атқарады, яғни температурасы 0°C-тан асатын аумақтар.

Соңғы жылдары Балқаш, Зайсан, Сасықкөл, Алакөл сияқты және т.б., және деірі су қоймаларында мұз қабатының кетуі жағдайына қадағалау жасалуда. Мынаны айта кету керек, әдетте, су нысандарна жақын жатқан аумақтарда қар қабаты кетуімен салыстырғанда мұз қабатының кетуі бір-екі аптаға кешігіуі байқалады.

Тасқын суы өтуі және су басуы кезінде жағдайға жедел бақылау орнату үшін EOS-AM TERRA MODIS (көрсетуі 250 м) күндізгі суреттері негізіндегі мониторинг технологиясы да пайдаланылады. Бұл мәселені шешудің негізгі мақсаты, тасқын суы өтуі және тасуы уақытында көмілу аймақтарын картаға түсіру болып табылады. Жоғарыда айтылғандай, ғарыштық бейнелерді өңдеудің алғашқы кезеңінде су беті де кіретін, бес нысандар тобын бөледі, оларды талдау, суға көмілу аймағын анықтауға мүмкіндік береді.

Су нысандарын көрсету үшін, спектрдің көрінетін және таяу инфрақызыл диапазондарындағы деректермен олардың композициялары (вегетация индекстері), және деосы каналдардың RGB-синтезі пайдаланылады. Көмілу аймақтары су бетінің қалыпты кездегі және тасқын уақытысындағы айырмасы ретінде анықталады.

Ғарыш суреттерін шифрлеу кезінде су нысандарын дұрыс анықтауға кедергі жасайтын, бұлттылық, бұлт көлеңкесі, күн сәулелері және т.б. сияқты бірқатар факторларды ескеру қажет. Бірінші кезекте бұлт бұлт қабаты, ол жиі су басумен жалғасады. Бұлттар көрінетін және инфрақызыл диапазондарда сәулеге кедергі болады. Одан бөлек, бұлт көлеңкесі су нысандары сияқты көрінеді, ал вегетациялық индекс пен бұлттарды пайдалану кезінде, және олардың көлеңкелері жиі су нысаны көрінеді. Осындай нысандарды болдырмау үшін, бұлттылық маскасы пайдаланылады және көлеңкелер бұлттың пішінін қайталайды деген дәйек алынады.



Сурет 1 – 2022 жылғы 17 қаңтардағы Түркістан облысы аумағында қар және мұз қабатының күйі туралы жедел келіп түскен ақпарат үлгісі

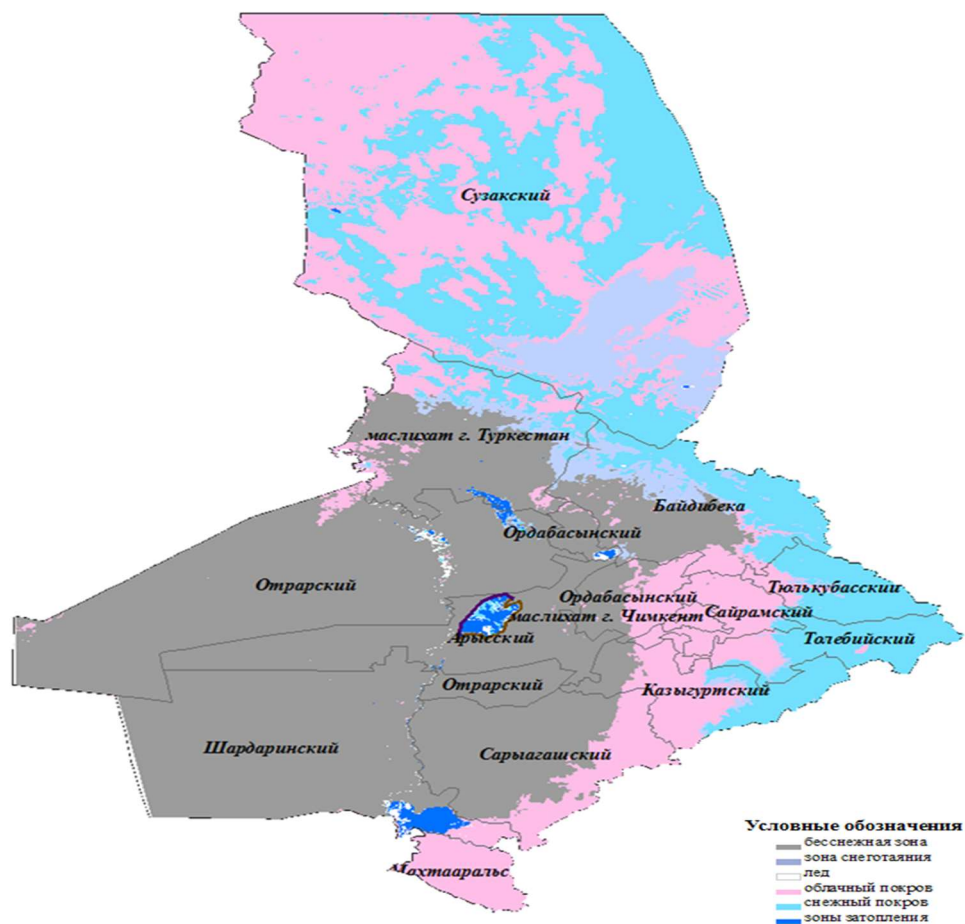
#### Қар және мұз қабатын анықтау үшін ғарыш суреттерін шифрлеу

Ғарыш суреттерін шифрлеу кезіндесу нысандарын дұрыс анықтауға кедергі жасайтын, бұлттылық, бұлт көлеңкесі, күн сәулелері және т.б. сияқты бірқатар факторларды ескеру қажет. Бірінші кезектебұлтбұлт қабаты, олжиі су басумен жалғасады. Бұлттар көрінетін және инфрақызыл диапазондарда сәулеге кедергі болады. Одан бөлек, бұлт көлеңкесісу нысандары сияқты көрінеді, алвегетациялық индекс пен бұлттарды пайдалану кезінде, және олардың көлеңкелеріжиі су нысаны көрінеді. Осындай нысандарды болдырмау үшін,бұлттылық маскасы пайдаланылады жәнекөлеңкелер бұлттың пішінін қайталайды деген дәйек алынады.

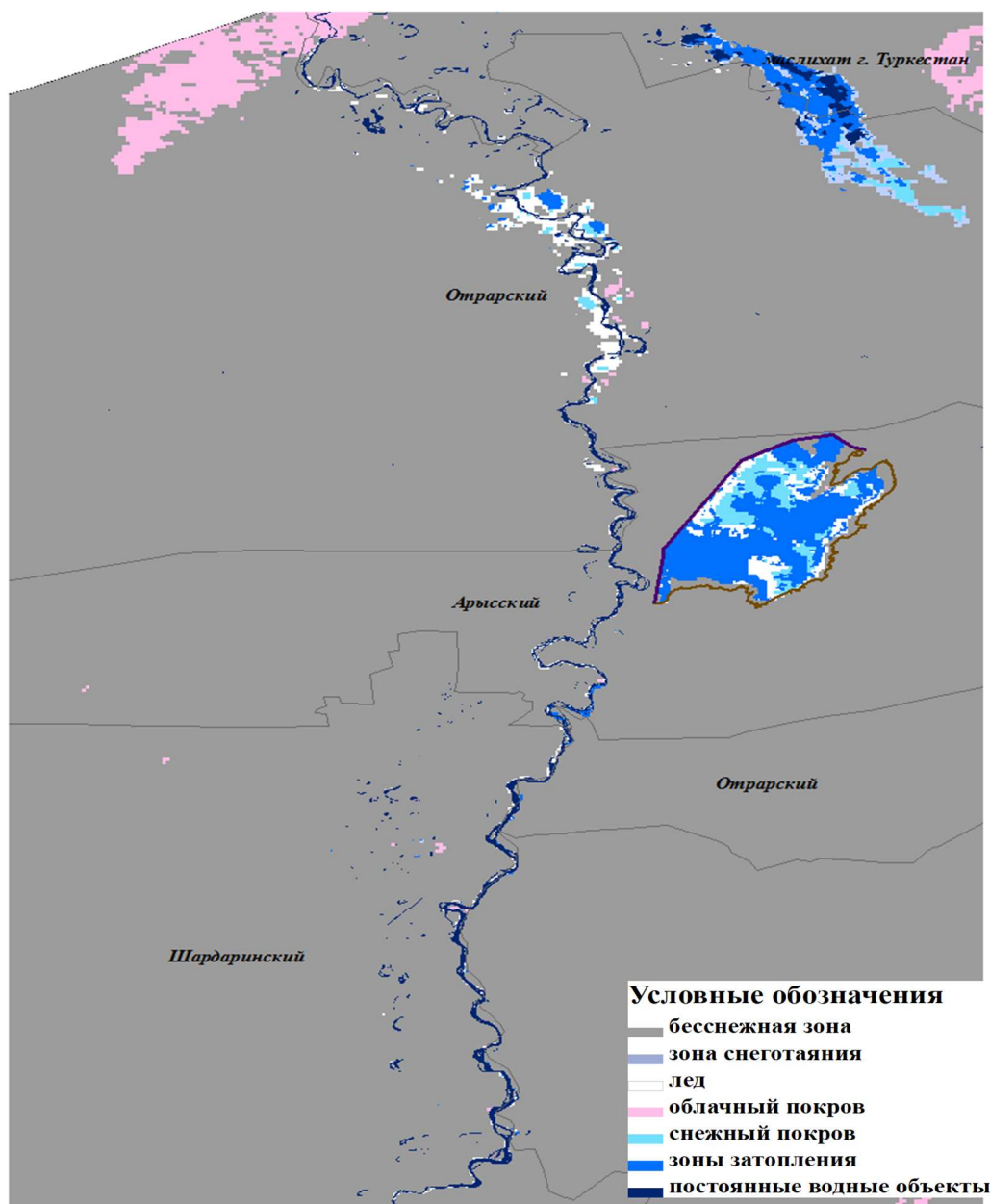
Су беті мен ылғал топырақтарды айыру өте күрделі мәселе болып табылады. Мұндай топырақтарсу беті шығаратындай әлсіз сәуле шығарады,бірақ соңғыларынан айырмашылығы, олардың спектралды сипаттамаларыіс жүзінде, толқын ұзындығы ұлғаюы кезінде өзгермейді. Ал су нысандары толқын ұзындығы өскенде,өздерінің шағылысу қабілетін төмендетеді. Сонымен қатар, су нысандарыкері таңбалы вегетациялық индексті NDVI, алылғал топырақтар – нолге жақын.

Суреттерді тематикалық өңдеу нәтижесінде,облыс және аудан көлемінде суға көмілген аумақтардың жүйелі карталары тұрғызылады (8.2-8.3 суреттерін қараңыз). Одан бөлек, жедел ахуалбұрынғы тәуліктегі карталармен салыстырылады және тасқынның дамуының динамикасы жоғары ең қауіпті телімдер анықаталады. ТЖ анықталған әлеуетті қауіпті бағалау үшін ГАЗ қолданылады, онда елді мекендер, жол және теміржол тораптары,

электр тогы желілері, мұнай және газ құбырлары, орман массивтері, ерекше маңызды нысандар жайлы ақпараттар болады. Осы қабаттарға суға көмілу аймақтарын қоя отырып, ТЖ әлеуетті қаупін бағалауға болады.



Сурет 2 – 2022 жылы 5 наурызда Түркістан облысы аумағында облыстық деңгейде тасқын сулардың өтуі туралы жедел шығу ақпаратының үлгісі



Сурет 3 – 2022 жылы 5 наурызда Түркістан облысы аумағында аудандық деңгейде тасқын сулардың өтуі туралы жедел шығу ақпаратының үлгісі

Шығу ақпараты векторлық полигондық түрде қалыптасады. Осы векторларды картографиялық ГАЗ-қабаттарға қоя отырып, шығу деректерінің жоғары және төмен келтірілген нәтиже беру деректерін аламыз.

#### **Қар және мұз қабаты күйі мен кетуі, тасқын сулардың өтуіне мониторинг жүргізу**

Ғарыштық мониторинг мүмкіндіктерін қар және мұз қабаты күйі мен кетуі, тасқын сулардың өтуін көрсету үшін 2012 жылы ОҚО аумағында алынған оның бірқатар нәтижелерін келтіреміз. Оңтүстік Қазақстан облысында қар және мұз қабаты күйі мен кетуі, тасқын сулардың өтуіне мониторинг жүргізу 2012 жылы қаңтар айынан бастап, мамырдың соңына дейін жүргізілді. Облыстың аумағынан тасқын сулардың өту ерекшелігі сонда, суға көмілу аймақтары мен су қоймаларының мұздан бос бөліктері қысқы кезеңде де тіркелуі мүмкін. Сондықтан, бүкіл қысқы-көктемгі кезеңде ғарыш суреттері су беттерінің болуына тексерілді. Мұндай аймақтар желтоқсан, қаңтар, ақпан айында да байқалды. Сонымен қатар, оларды бақылау үшін орташа рұқсаттағы, радарлық суреттер қоса тартылды.



Мысалы, желтоқсан соңы – қаңтардың алғашқы он күндiгiнде Отырар ауданы Маяқұм елдi мекенi аумағында Сырдария өзенiнiң телiмiне мониторинг жүргiзiлдi. Бұл жерде, радарлық түсiрiлiм деректерi бойынша 2011 жылдың 27 желтоқсанында көмiлу аймақтары байқалды, ал 31 желтоқсанға қарай, өзеннiң арнасы бойымен, олардың ауданының өскенi тiркелдi (сурет 8.4). Содан кейiн, радарлық деректерден көрiнгендей, 4 қаңтар 2012 жылы, су бетi ауданының шамалы қысқарғаны, ал 10 қаңтарға қарай қайтадан ұлғайғаны байқалды (сурет 8.5). Және де, осы күнi, тағы бiр көмiлу аймағы тiркелдi, ол Түркiстан қаласы акиматына бағынышты аумақта, Құмкөл елдi мекенi ауданында Қызылорда облысы шекарасында орналасқан. Бұл аумақтарға одан ары мониторинг жүргiзу кезiнде анықталды, 12 қаңтарда, бұл суға көмiлу аймағының ауданы әлдеқайда ұлғайған (сурет 8.5).

Радарлық деректермен ОҚО аумағындағы суға көмiлу аймақтарына тағы да мониторинг жүргiзу процесiнде, облыстағы жалпы температураның төмендеуiмен байланысты, Түркiстан қаласы акиматына бағынышты аумақта, отырар ауданы Маяқұм елдi мекенiндегi өткен есепте көрсетiлген суға көмiлу аймағы одан да ұлғайғанын және мұзбен көмкерiлгенiн көрсеттi (сурет 8.6). Радарлық деректер көмегiмен, сырдария өзенiндегi мұз қабатының күйiне де бақылаулар жүргiзiлдi. Оның iшiнде, осы деректер бойынша, мұз кептелiстерiнiң орналасқан орындарын анықтауға болады (сурет 8.7).

Радарлық деректер бойынша, 2012 жылдың ақпанында, Сырдария өзенi алабындағы мұздың ахуалы iс жүзiнде өзгермегенiн көрсетiп отыр. Шардара су қоймасынан Отырар ауданы Жанкел ауылына дейiнгi өзеннiң бөлiгiнде, ашық су бетi басым болды, ал келесi, Қызылорда облысы шекарасымен аяқталатын телiмде, мұз қабатының болуы басым болды. Ақпан айының соңында, қар ерудiң қарқынды процесi жүрдi және радарлық суреттерде 27 ақпандағы, Сырдария өзенi арнасы бойымен ауқымды аудандар бары анықталды, олар, қарқынды қар еруi нәтижесiнде суға көмiлiген. Мұндай телiмдер, Отырар ауданы Ақын ауылы маңында, Отырар ауданы Жанкел және Маяқұм елдi мекендерi арасында өзен бойындағы телiмдерде анықталған болатын (сурет 8.8).

Радарлық деректер бойынша мыналар анықталды, Сырдария өзенiнiң бүкiл бойында мұз iс жүзiнде наурыздың алғашқы онкүндiгiнде кеттi. Наурыз – сәуiрде, облыс аумағында маусымдық қар еруi және сырдария өзенi жоғары ағысындағы сумен туындаған, тасқын суларының өтуi байқалды, олоблыстың жеке бөлiктерiнде көптеген аудандардың суға көмiлуiне алып келдi. Көп жағдайларда, суға көмiлген аумақтар, халықтың өмiрi мен тiршiлiк әрекетiне қауiп төндiрген жоқ, себебi, тасқын суларының кәдiмгi жыл сайын жиналатын орындары едi. Содан кейiн, осы аймақтардың мөлшерлерi ақырындап қысқаруы процесi жүрдi, ол мамыр айында да жүрдi [1-7].

Айта кету керек, деректердi жеткiзушiлер көп жағдайларда, стандартты өңдеумен қатар, бiрқатар өнiмдердi ұсынады. Көбiне, қосымша өнiмдер жоғары көрсетiлiмдегi деректер үшiн жүргiзiледi. Бұл стереопарлар, ортофототүрленген бейнелер, рельефтiң цифрлiк модельдерi және де басқа туындылар болуы мүмкiн, мысалы, жер бетiнiң температурасы, жер бетiнiң сәуле шығаруы, жер бетi альбедосы және т.б.

Жоғарыда келтiрiлгендердi қорытындылай отырып, Жердi қашықтан зондылаудың заманауи оптикалық жүйелерiнiң негiзгi сипаттамаларын, олардың картографиялық масштабтарға сәйкестiгiн және ұсынылатын қолдану аясы өте ауқымды екенiн айта кету керек.



### ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- И.А, Лабутина. Дешифрирование аэрокосмических снимков. 2004. – 184 с.
- И.К. Лурье, А.Г. Косиков. Теория и практика цифровой обработки изображений /Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А.М. Берлянта. -М.: Научный мир, 2003. - 168 с.
- Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов ДЗЗ. Редакция 7. ООО «Байкальский центр», ООО Инженерно-технологический Центр «СканЭкс». Иркутск. 2008.
- Постановление Правительства Республики Казахстан от 21 ноября 2007 года № 1124 «Об утверждении Правил ведения государственного регистра электронных информационных ресурсов и информационных систем и депозитария».
- Правила размещения электронных информационных ресурсов на интернет-ресурсах государственных органов, утвержденным Постановлением Правительства Республики Казахстан от 13 июля 2007 года № 598.
- СТ РК 34.014 -2002 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения».
- СТ РК 34.015-2002 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. ТЗ на создание АС».

# ARTIRIMIŞ REALLIQ TEXNOLOGİYASININ SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNƏ İNTEQRASIYASI: Azərbaycan Neft-Qaz, Energetika və Kimya Sektorları Üzrə Empirik Tədqiqat

Qəni Mehman oğlu Axundov

Bakı Mühəndislik Universiteti, Biznesin Təşkili və İdarə Edilməsi (mühəndislik layihələrinin idarə edilməsi) ixtisası

Elmi rəhbər:

Validə Xankişi qızı Mahmudova

## XÜLASƏ

*Bu məqalə artırılmış reallıq (AR) texnologiyasının Azərbaycanın üç əsas sənaye sektorunda - neft-qaz emalı (SOCAR Ətraflı Emal Zavodu), energetika (AZƏRENERJİ Mingəçevir Su Elektrik Stansiyası) və kimya istehsalatı (Sumqayıt Kimya Sənaye Parkı) - tətbiqinin empirik nəticələrini təhlil edir. 2023-2024-cü illər ərzində üç müəssisədə cəmi 66 iştirakçı ilə aparılan nəzarətli sınaqlar əsasında AR sisteminin ənənəvi kağız sənəd əsaslı baxım üsulları ilə müqayisəli effektivliyi qiymətləndirilmişdir. Tədqiqat göstərir ki, AR tətbiqi orta hesabla 35,8% vaxt azalmasına, 88,7% kritik xəta azalmasına və 76,8% birinci cəhddə uğur nisbəti artımına nail olmuşdur. NASA-TLX ölçüsü ilə qiymətləndirilmiş kognitiv yük göstəricisi orta 38,4% azalmışdır. İqtisadi analiz hər üç müəssisə üzrə orta illik ROI-nin 181% olduğunu ortaya qoymuşdur. Məqalədə həmçinin Azərbaycan müəssisələrinin yerli spesifik şəraitinə - sovet dövrü avadanlıqları, ikidilli texniki terminologiya, milli hüquqi-normativ çərçivə - uyğunlaşdırılmış beş mərhələli AR integrasiya modeli təqdim edilir.*

## GİRİŞ

Sənaye 4.0 paradigmasının genişləndiyi müasir dövrdə artırılmış reallıq (AR) texnologiyası istehsal, texniki baxım və operator təlimi sahələrində transformativ potensial daşıyan bir innovasiya aləti kimi öndə gəlir. AR sistemləri operatora real dünya görüntüsü üzərinə rəqəmsal məlumat laylarını proyeksiya etməklə əl-göz koordinasiyasını saxlayaraq real vaxt rejimli rəhbərlik imkanı yaradır. Bu xüsusiyyət xüsusilə kompleks, çoxaddımlı və yüksək xəta riski daşıyan baxım prosesləri üçün əhəmiyyətlidir.

Azərbaycan kontekstində sənaye müəssisələrinin böyük hissəsi sovet dövrü avadanlıq parkına malikdir, texnisyen sənədləri köhnəlmiş kağız formatlarda mövcuddur, xüsusi ixtisaslı kadrların kəmiyyəti azalmaqdadır. Bu şəraitdə AR texnologiyasının strategik integrasiyası həm iş təhlükəsizliyini artırmaq, həm də qeyri-planlaşdırılmış avadanlıq dayanmalarından irəli gələn iqtisadi itkiləri azaltmaq üçün perspektivli bir yanaşmadır.

Beynəlxalq ədəbiyyatda AR-ın texniki baxım proseslərinə tətbiqini araşdıran çoxsaylı tədqiqatlar mövcuddur (Palmarini et al., 2018; Bottani & Vignali, 2019; Dini & Dalle Mura, 2015). Lakin həmin tədqiqatların böyük hissəsi Qərb istehsal mühiti xüsusən Avropa və Şimali Amerika üçün aparılmışdır. Azərbaycan kimi keçid iqtisadiyyatı şəraitindəki ağır sənaye müəssisələrinin spesifik infrastruktur, dil-mədəni kontekst və normativ-hüquqi çərçivəsini nəzərə alan empirik araşdırmalar demək olar ki, mövcud deyil. Bu boşluğu doldurmaq bu məqalənin əsas məqsədini təşkil edir.

Məqalənin quruluşu aşağıdakı kimi təşkil edilmişdir: ikinci bölmə metodoloji yanaşmanı, üçüncü bölmə nümunəvi ssenariləri və empirik nəticələri, dördüncü bölmə iqtisadi effektivliyi, beşinci bölmə keyfiyyət tapıntılarını, altıncı bölmə isə tövsiyə və nəticələri əhatə edir.

## TƏDQIQAT METODOLOGİYASI VƏ ÇƏRÇİVƏ MODELİ

### Beş Mərhələli AR İnteqrasiya Çərçivəsi

Tədqiqatın nəzəri bazasını Azərbaycan sənaye müəssisələrinin yerli şərtlərinə uyğunlaşdırılmış orijinal beş mərhələli AR inteqrasiya çərçivəsi təşkil edir. Çərçivə dörd fundamental prinsipə əsaslanır: kontekstə uyğunluq (müəssisənin texnoloji infrastrukturuna adaptasiya), modulluq (hissələrin müstəqil tətbiq oluna bilməsi), ölçülə bilən nəticə (KPI ilə müşayiət) və davamlılıq (institusional biliyə çevrilmə).

Çərçivənin birinci mərhələsi olan Diagnostika və Hazırlıq mərhələsində müəssisənin AR-ğa hazırlıq səviyyəsi xüsusi matris vasitəsilə qiymətləndirilir. Proses seçim matrisi  $F = 0,3 \cdot K_1 + 0,3 \cdot K_2 + 0,2 \cdot K_3 + 0,2 \cdot K_4$  formuluna əsaslanır, burada  $K_1$  - əməliyyatın mürəkkəbliyi,  $K_2$  - xəta riski,  $K_3$  - sənəd kütləsi,  $K_4$  - əvəzedici kadrların mövcudluğudur.  $F > 0,6$  olan proseslər birinci növbədə AR-ğa keçirilir.

İkinci mərhələ - Texniki infrastruktur Azərbaycan sənaye mühiti üçün xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Kimyəvi maddələr, yüksək istilik, rütubət və elektromaqnit interferensiyasının mövcud olduğu ağır sənaye şəraitində istehlak sinfi cihazları tətbiq edilə bilməz. Üçüncü mərhələ - Məzmun İnkişafı Azərbaycan müəssisələri üçün xüsusi çətinlik olan lokalizasiya problemi ilə məşğul olur. Dördüncü mərhələ pilot tətbiqi, beşinci mərhələ isə tam miqyaslandırmanı əhatə edir.

### Sınaq Dizaynı və İştirakçı Seçimi

Sınaqlar 2023-2024-cü illər ərzində üç müəssisədə aparılmışdır: SOCAR-ın Ətraflı Emal Zavodu (Bakı), AZƏRENERJİ-nin Mingəçevir Su Elektrik Stansiyası və Sumqayıt Kimya Sənaye Parkı. Hər müəssisədə nəzarət qrupu (ənənəvi üsul) və müdaxilə qrupu (AR sistemi) formalaşdırılmış, 2 həftəlik fasilə ilə çarpaz keçid tətbiq edilmişdir. Bu yanaşma fərdi fərqliliklərin nəticəni çarpıtmasını minimuma endirir. İştirakçı seçimində dörd homogenlik meyarı tətbiq edilmişdir: iş stajı 2-6 il arasında, yaş 24-38, AR cihazı ilə əvvəlki tanışlıq minimal, sağlamlıq vəziyyəti görmə və motor koordinasiya testindən keçmiş. Cəmi 66 texnisyen üç müəssisə üzrə bölüşdürülmüşdür (Cədvəl 1).

*Cədvəl 1. Sınaq müəssisələri və ssenarilər haqqında ümumi məlumat*

| Müəssisə                  | Sektor     | Ssenari                     | İştirakçı  | Müddət  |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------|
| SOCAR ƏEZ, Bakı           | Neft emalı | Kompressor baxımı (A)       | 24 (12+12) | 6 həftə |
| AZƏRENERJİ Mingəçevir SES | Energetika | Turbin qanad müayinəsi (B)  | 20 (10+10) | 5 həftə |
| Sumqayıt KSP              | Kimya ist. | Reaktor flanş yoxlaması (C) | 22 (11+11) | 6 həftə |

### Ölçü Göstəriciləri

Kəmiyyət ölçülməsində dörd əsas göstərici istifadə edilmişdir: tapşırığın tamamlanma vaxtı (stopwatch), kritik xəta sayı (buraxılmış/səhv icra edilmiş mərhələlər), birinci cəhdə uğur nisbəti - First-Time Right Rate (FTR) - və NASA Task Load Index (NASA-TLX) vasitəsilə ölçülmüş kognitiv yüklər. Statistik əhəmiyyətlik Student t-testi (independent samples) ilə yoxlanılmışdır. Keyfiyyət analizində üç metod - müşahidə protokolu, yarı-strukturlu müsahibə və fokus-qrup - paralel tətbiq edilmişdir.

## EMPIRİK NƏTİCƏLƏR: ÜÇSSENARI ANALİZİ

### Ssenari A - SOCAR Kompresor Baxımı

SOCAR-ın Ətraflı Emal Zavodunda H<sub>2</sub> kompresor qrupunun 23 addımlı planlaşdırılmış baxım proseduru sınaq ssenarisini təşkil etmişdir. Ənənəvi üsulda texnisyen 11 səhifəlik ISO-uyğun kağız texniki qaydanı izləyir. AR sistemdə isə eyni addımlar RealWear Navigator 520 cihazı üzərindəki overlay animasiyalar və səsli göstərişlər vasitəsilə təqdim edilmişdir.

Ssenari A üzrə nəticələr (Cədvəl 2) yüksək statistik əhəmiyyət ( $p < 0,001$ ) göstərmişdir. Ən əhəmiyyətli tapıntı sənəddə müraciət sayının 85,9% azalmasıdır - operator prosesi dayandırır kağız sənədə baxmaq məcburiyyətindən demək olar ki, tamamilə azad olmuşdur. H<sub>2</sub> kompressorları kimi yüksək təhlükəli avadanlıqların baxımında iş axınının fasiləsizliyi kritik əhəmiyyət daşıdığından, bu nəticə təhlükəsizlik nöqtəyi-nəzərindən xüsusilə dəyərlidir.

*Cədvəl 2. Ssenari A nəticələri 0 SOCAR kompresor baxımı*

| Ölçü göstəricisi             | Ənənəvi üsul | AR sistemi | Fərq   | p-dəyəri |
|------------------------------|--------------|------------|--------|----------|
| Orta tamamlanma vaxtı (dəq.) | 52,6 ± 8,3   | 34,1 ± 5,7 | -35,2% | < 0,001  |
| Kritik xəta sayı (ort./tap.) | 2,8 ± 1,1    | 0,6 ± 0,4  | -78,6% | < 0,001  |
| Buraxılmış addım sayı        | 3,1 ± 1,4    | 0,3 ± 0,2  | -90,3% | < 0,001  |
| Birinci cəhddə uğur (FTR)    | 54,2%        | 91,7%      | +69,2% | < 0,01   |
| NASA-TLX ümumi yük           | 71,3 ± 9,2   | 43,8 ± 7,1 | -38,6% | < 0,001  |
| Sənədə müraciət sayı         | 6,4 dəfə     | 0,9 dəfə   | -85,9% | < 0,001  |

### Ssenari B - AZƏRENERJİ Turbin Qanad Müayinəsi

Mingəçevir Su Elektrik Stansiyasında hidroturbin qanad müayinəsi (runner blade inspection) bu ssenari üçün seçilmişdir. Proses bir sıra spesifik çətinliklər yaradır, müayinə yüksək səviyyədə aparılır, 16 vizual oxşar qanadın hər biri ayrı-ayrılıqda yoxlanmalı, nəticələr paralel sənədləşdirilməlidir. AR sisteminin bu ssenari üçün xüsusi üstünlüyü avtomatik qanad identifikasiya funksiyasıdır - operator cihazı hər qanadı tutduqda sistem həmin qanadın nömrəsini, son müayinə tarixini və əvvəlki qeydləri avtomatik göstərir.

Ssenari B üzrə ən diqqətəlayiq nəticə qanad nömrələmə xətasının tamamilə aradan qaldırılmasıdır (100% azalma, Cədvəl 3). Ənənəvi üsulda fiziki oxşar qanadların bir-biri ilə qarışdırılması tez-tez baş verən bir xəta növü idi. Bundan əlavə, sənədləşdirmə vaxtının sıfıra enməsi rəqəmsal avtomatik qeydiyyat sayəsində ümumi proses müddətinə mühüm töhfə vermişdir.

**Cədvəl 3. Ssenari B nəticələri - AZƏRENERJİ turbin qanad müayinəsi**

| Ölçü göstəricisi           | Nəzarət qrupu | AR qrupu        | Fərq   | p-dəyəri |
|----------------------------|---------------|-----------------|--------|----------|
| Tam müayinə vaxtı (dəq.)   | 78,4 ± 11,6   | 49,2 ± 7,3      | –37,2% | < 0,001  |
| Buraxılmış müayinə nöqtəsi | 2,1 ± 0,9     | 0,2 ± 0,2       | –90,5% | < 0,001  |
| Qanad nömrələmə xətası     | 1,4 ± 0,7     | 0,0 ± 0,0       | –100%  | < 0,001  |
| Sənədləşdirmə vaxtı (dəq.) | 14,3 ± 3,1    | 0,0 (avtomatik) | –100%  | —        |
| Yenidən müayinə tələbi     | 35%           | 5%              | –85,7% | < 0,01   |
| NASA-TLX ümumi yük         | 66,8 ± 8,4    | 41,3 ± 6,9      | –38,2% | < 0,001  |

### **Ssenari C - Sumqayıt KSP Reaktor Flanş Yoxlaması**

Sumqayıt Kimya Sənaye Parkındakı polimer reaktorunun flanş sızdırmazlıq yoxlaması üç ssenarinin ən mürəkkəbidir: HCl buxarının mövcudluğu yüksək diqqət tələb edir, flanş boltlarının sıxma momentləri dəqiq ardıcılıqla tətbiq edilməlidir, hər hansı ardıcılıq pozuntusu reaktor gövdəsinin deformasiyasına yol açə bilər. Bu ssenari üçün AR sisteminin xüsusi komponenti dinamik moment kalibrasiya moduludur: operator cihazı hər bolta tutduqda sistem həmin boltu vurğulayır, tətbiq edilməli momentin dəyərini (N·m) göstərir və boltun vəziyyətini rənglə (yaşıl/sarı/qırmızı) işarələyir.

Ssenari C üzrə ən kritik tapıntı moment dəyərindəki sapmanın  $\pm 18,4$  N·m-dən  $\pm 3,1$  N·m-ə, yəni 83,2% azalmasıdır (Cədvəl 4). Kimya sənayesində flanş bağlantılarında momentin düzgün tətbiq edilməməsi sızdırmazlıq itkisinə, karbohidrogen sızmalarına və hətta ağır qəzalara səbəb ola bilər. Birinci cəhddə uğur göstəricisi isə 45,5%-dən 86,4%-ə yüksəlmiş, bu da 89,9% artım deməkdir və üç ssenari arasında ən yüksək FTR artım göstəricisi hesab olunur.

**Cədvəl 4. Ssenari C nəticələri - Sumqayıt KSP reaktor flanş yoxlaması**

| Ölçü göstəricisi               | Nəzarət qrupu | AR qrupu   | Fərq   | p-dəyəri |
|--------------------------------|---------------|------------|--------|----------|
| Proses tamamlanma vaxtı (dəq.) | 63,7 ± 9,8    | 41,4 ± 6,2 | –35,0% | < 0,001  |
| Ardıcılıq xətası (bolt sırası) | 3,2 ± 1,2     | 0,1 ± 0,1  | –96,9% | < 0,001  |
| Moment sapması (ort. N·m)      | ±18,4         | ±3,1       | –83,2% | < 0,001  |
| Kritik xəta (yenidən açma)     | 29,1%         | 4,5%       | –84,5% | < 0,01   |
| Birinci cəhddə uğur (FTR)      | 45,5%         | 86,4%      | +89,9% | < 0,001  |
| NASA-TLX ümumi yük             | 74,2 ± 10,1   | 45,6 ± 7,8 | –38,5% | < 0,001  |

MÜQAYISƏLİ ANALİZ VƏ İQTİSADİ EFFEKTİVLİK

Üç Ssenari Üzrə Müqayisəli Nəticə

Üç ssenari üzrə toplanan məlumatların birləşdirilmiş analizi AR sisteminin müxtəlif sənaye kontekstlərindəki effektivliyini müqayisəli şəkildə ortaya qoyur (Cədvəl 5). Vaxt azalması üç ssenaridə nisbətən sabit (~35%) qalmışdır - bu, AR sisteminin müxtəlif proses mürəkkəbliyi səviyyələrindən asılı olmayaraq ardıcıl effektivlik göstərdiyini sübut edir. Kritik xəta azalması ssenarilər arasında daha geniş aralıqda dəyişir: 78,6%-dən 96,9%-ə qədər. Bu fərq proseslərin ardıcılıq tələbi ilə birbaşa əlaqəlidir. Regression analizi proses addım sayı ilə AR-ın xəta azaltma effekti arasında müsbət korrelyasiyanın mövcudluğunu ortaya qoymuşdur ( $r = 0,74$ ,  $p < 0,05$ ). Başqa sözlə, proses nə qədər çox addımlı olarsa, AR sisteminin xəta önləyici effekti bir o qədər güclü olur.

Cədvəl 5. Üç ssenari üzrə müqayisəli nəticə xülasəsi

| Göstərici            | Ssenari A (SOCAR) | Ssenari B (AZƏRENERJİ) | Ssenari C (Sumqayıt KSP) | Orta fərq |
|----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| Vaxt azalması        | -35,2%            | -37,2%                 | -35,0%                   | -35,8%    |
| Kritik xəta azalması | -78,6%            | -90,5%                 | -96,9%                   | -88,7%    |
| FTR artımı           | +69,2%            | +71,4%                 | +89,9%                   | +76,8%    |
| NASA-TLX azalması    | -38,6%            | -38,2%                 | -38,5%                   | -38,4%    |
| Məmnuniyyət (1–5)    | 4,3 / 5           | 4,1 / 5                | 4,4 / 5                  | 4,3 / 5   |

İqtisadi Effektivlik Hesablamaları

Kəmiyyət nəticələrini müəssisə üçün iqtisadi dəyərə çevirmək məqsədilə hər üç müəssisə üzrə illik qənaət modeli qurulmuşdur. Hesablamada texnisyen saatlıq məsrəfi (orta 18 AZN/saat), avadanlıq dayanma məsrəfi, yenidən baxım xərcləri və illik baxım dövryyəsi nəzərə alınmışdır (Cədvəl 6).

Cədvəl 6. İllik iqtisadi qənaət hesablaması (hər müəssisə üzrə, AZN)

| Qənaət mənbəyi                     | SOCAR ƏEZ      | AZƏRENERJİ SES | Sumqayıt KSP   |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Azalan baxım vaxtından qənaət      | 48.600         | 31.200         | 39.400         |
| Azalan xəta/yenidən baxım məsrəfi  | 62.400         | 28.800         | 54.600         |
| Sənədləşdirmə vaxtı qənaəti        | 8.400          | 14.600         | 7.200          |
| Planlaşdırılmamış dayanma azalması | 84.000         | 62.000         | 71.000         |
| Cəmi illik qənaət (AZN)            | 203.400        | 136.600        | 172.200        |
| AR sistemi illik xərci (AZN)       | 68.000         | 52.000         | 61.000         |
| Xalis qənaət / ROI (%)             | 135.400 / 199% | 84.600 / 163%  | 111.200 / 182% |

Üç müəssisənin ümumi orta ROI göstəricisi 181% olaraq hesablanmışdır - AR sisteminə yatırılan hər 1 AZN-lik investisiya ilk ilin sonunda orta hesabla 2,81 AZN gəlir gətirir.

Planlaşdırılmamış dayanma azalmasından yaranan qənaət ümumi qənaətin 38-46%-ni təşkil etmişdir. Neft emalı sektorunda bir saatlıq planlaşdırılmamış dayanmanın orta məsrəfinin 12.000-18.000 AZN olduğu nəzərə alındıqda, bu maddənin həlledici əhəmiyyəti daha aydın ortaya çıxır.

### KEYFİYYƏT TAPINTILARI VƏ YERLİ SPESİFİKALAR

#### Müşahidə, Müsahibə və Fokus-qrup Tapıntıları

Keyfiyyət analizindən çıxan tapıntılar dörd əsas mövzu qrupu üzrə təsnif edilmişdir. Birincisi, özünə inam artımı: iştirakçıların 78%-i AR sistemi ilə iş zamanı daha az “yanlış edə bilərəm” narahatlığı yaşadığını bildirmiş, bu hiss xüsusilə iş stajı  $\leq 3$  il olan kadrlar arasında daha güclü ifadə edilmişdir. Bir SOCAR texnisyeri bu hissi “Sanki yanımda daim bir mütəxəssis durub mənə göstəriş verir, amma mən özüm görürəm və özüm edirəm” sözləri ilə ifadə etmişdir.

İkincisi, qərar vermə sürəti: müşahidə məlumatlarında AR qrupunun addımlar arasındakı gecikmə müddəti ənənəvi qrupa nisbətən orta 47% qısa olmuşdur. Bu fərq çətin adlandırma tələb edən addımlarda daha qabarıq idi. Üçüncüsü, öyrənmə əyrisi effekti: AR qrupunda ilk 2-3 seans ənənəvi qrupa yaxın nəticə vermişdir, 4-cü sessiyadan etibarən AR qrupu üstün nəticə göstərmiş və 7-ci sessiyadan sonra bu üstünlük sabit xarakter almışdır.

Dördüncüsü, üç əsas etiraz qeydə alınmışdır: (i) cihazın fiziki çəkisi (540 q) uzun sessiyalar zamanı yorğunluğa səbəb olur; (ii) güclü işıqlı şəraitdə ekran görünürlüyü azalır; (iii) bəzi texnisyerlər texnologiyaya asılılıq (over-reliance) narahatlığı bildirmişdir – “cihaza güvənib öz biliklərimi itirirəm”. Bu sonuncu etiraz AR tətbiqinin uzunmüddətli institutsional effektləri baxımından araşdırılması vacib olan bir risk amilidir.

#### Azərbaycan Müəssisələrinə Xas Uyğunlaşma Məsələləri

Azərbaycan sənaye müəssisələrinin böyük hissəsinin sovet dövrü avadanlıq parkına malik olması AR tətbiqi üçün xüsusi çətinlik yaradır: hazır 3D CAD modelləri mövcud olmadığından, müəssisə texniki arxivlərindəki cizgilər əsasında yenidən modelləmə tələb olunur. “SOCAR-ın köhnəlmiş neft emalı avadanlıqlarına fotogrammetriya üsulu tətbiq olunmuş, onların fiziki parametrləri əsasında 3D modellər əldə edilmişdir.”

Dil-mədəni kontekst baxımından Azərbaycan texniki işçilərinin böyük hissəsi rus dilindəki texniki termin bazasına malikdir, Azərbaycan dilindəki standartlaşdırılmış texniki terminologiya isə hələ formalaşma mərhələsindədir. Bu reallıq AR interfeysinin ikidilli (Azərbaycan-Rus) hazırlanmasını optimal həll kimi ön plana çıxarır. Hüquqi çərçivə baxımından Azərbaycan Respublikasının Sənaye Təhlükəsizliyi haqqında Qanununun (2002) 12-ci maddəsi AR-da göstərilən məlumatların rəsmi texniki sənədlərə tam uyğun olmasını tələb edir, bu tələb AR məzmun inkişafının ISO 9001:2015 çərçivəsində sənədləşdirilməsini şərtləndirir.

### TÖVSIYƏLƏR VƏ NƏTİCƏ

#### Elmi-Praktiki Təvsiyələr

Tədqiqat nəticələri əsasında bir neçə əsas tövsiyə irəli sürülür. Birincisi, AR tətbiqi üçün proseslərin seçimində proses addım sayına və ardıcılıq tələbinə üstünlük verilməlidir: yüksək addımlı, ardıcılıq-kritik proseslər (flanş sıxma, çox nöqtəli müayinə) AR-dan ən çox faydalanan proseslərdir.

İkincisi, Azərbaycan müəssisələri üçün AR integrasiyasının pilotundan əvvəl fotogrammetriya və ya lazer skanlaşdırma əsasında mövcud avadanlıq parkının rəqəmsal inventarının hazırlanması tövsiyə edilir. Bu addım sonrakı 3D məzmun inkişafı mərhələsinin xərclərini və müddətini əhəmiyyətli ölçüdə azaldacaqdır.

Üçüncüsü, over-reliance riskinin idarə edilməsi üçün AR sisteminin yalnız köməkçi alət kimi - əsas bilik mənbəyi yox - konumlandırılması və müntəzəm “AR-siz” baxım məşqlərinin kadr hazırlığı proqramına daxil edilməsi tövsiyə edilir. Dördüncüsü, AR məzmunu Azərbaycandilli texniki terminologiyanın inkişafına töhfə verən bir platforma kimi istifadə oluna bilər. SOCAR texniki



mütəxəssisləri ilə birgə hazırlanmış terminoloji lüğətin sənaye standartına çevrilməsi perspektivli istiqamət hesab olunur.

### Nəticə

Bu tədqiqat artırılmış reallıq texnologiyasının Azərbaycanın üç əsas sənaye sektorunda neft-qaz emalı, energetika və kimya istehsalatı - statistik cəhətdən əhəmiyyətli və iqtisadi baxımdan əsaslandırılmış effektivlik göstərdiyini empirik olaraq sübut etmişdir. Orta 35,8% vaxt azalması, 88,7% kritik xəta azalması, 76,8% FTR artımı və 181% illik ROI göstəriciləri AR sistemlərinin Azərbaycan sənayesinə integrasiyasının nəinki texniki baxımdan mümkün, həm də iqtisadi baxımdan məqsədmüvafiq olduğunu göstərir.

Tədqiqatın əsas nəzəri töhfəsi beynəlxalq AR integrasiya çərçivələrinin Azərbaycan şəraitinə sovet dövrü avadanlıq infrastrukturu, ikidilli texniki terminologiya konteksti, milli hüquqi-normativ tələblər uyğunlaşdırılmış orijinal beş mərhələli modelin hazırlanmasıdır. Bu model gələcəkdə Azərbaycanın digər sənaye müəssisələri üçün metodoloji istinad bazası kimi istifadə edilə bilər.

Gələcək tədqiqatlar üçün bir neçə istiqamət mövcuddur. AR sistemlərinin uzunmüddətli (12+ ay) effektivliyinin izlənməsi; texnologiyaya asılılıq riskinin ampirik ölçülməsi; AR-ın uzaqdan ekspert dəstəyi (remote assistance) funksiyasının offshore quyu texniki baxımı kimi uzaq lokasiyalarda sınaqdan keçirilməsi.

### İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT

1. Palmarini, N.C., Erkoyuncu, J.A., Dini, G., & Shehab, E. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 21-228.
2. Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IIE Transactions*, 51(3), 284-310.
3. Dini, G., & Dalle Mura, M. (2015). Application of augmented reality techniques in through-life engineering services. *Procedia CIRP*, 38, 14-23.
4. Azərbaycan Respublikasının Sənaye Təhlükəsizliyi haqqında Qanunu. (2002, 29 oktyabr). Bakı: Azərbaycan Respublikasının Milli Məclisi.
5. ISO 9001:2015. Quality Management Systems - Requirements. International Organization for Standardization.
6. Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human Mental Workload*, 1(3), 139-183.
7. RealWear Inc. (2023). RealWear Navigator 520 Product Specifications. Vancouver, WA: RealWear.

# AZƏRBAYCANDA TƏCHİZAT ZƏNCİRİNİN OPERATİV İDARƏETMƏSİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ: TƏHLİL VƏ MODELLƏŞDİRMƏ

**Samir Namiq oğlu Məmmədov**

Bakı Mühəndislik Universiteti, Biznesin Təşkili və İdarə Edilməsi ixtisası

Elmi rəhbər:

**Valeh Alquluyev Alqulu oğlu**

## XÜLASƏ

*Bu məqalə Azərbaycanda təchizat zəncirinin operativ idarəetməsinin mövcud vəziyyətini araşdırır, əsas problemləri müəyyən edir və logistik proseslərin optimallaşdırılması üçün riyazi modellər təqdim edir. Tədqiqatda enerji sektoru (SOCAR) və kənd təsərrüfatı sahəsinin müqayisəli statistik təhlili aparılmış, xətti proqramlaşdırma, marşrutlaşdırma (VRP), şəbəkə modelləri, Lean logistika, çoxmeyarlı qərarvermə (AHP, TOPSIS) və tələbat proqnozlaşdırma metodları tətbiq edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, rəqəmsallaşdırma, infrastruktur inkişafı və iştirakçılar arasında koordinasiyanın gücləndirilməsi Azərbaycanda logistika sisteminin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.*

**Açar sözlər:** *təchizat zənciri, logistika optimallaşdırması, xətti proqramlaşdırma, VRP, Lean logistika, AHP, tələbat proqnozlaşdırması, SOCAR, Azərbaycan*

## GİRİŞ

Müasir iqtisadi şəraitdə təchizat zəncirinin effektiv idarəsi müəssisələrin rəqabət üstünlüyünün əsas mənbəyinə çevrilmişdir. Azərbaycan iqtisadiyyatı son onillikdə əhəmiyyətli dönüşümlər yaşamış, ölkənin Avropa-Asiya tranzit dəhlizindəki strateji mövqeyi logistika sahəsinin inkişafı üçün yeni imkanlar açmışdır. Bununla birlikdə, digər inkişaf etməkdə olan ölkələrdə olduğu kimi, Azərbaycanda da logistika sistemlərinin idarəetməsindəki struktur çatışmazlıqlar sahənin potensialının tam reallaşmasına mane olur.

Tədqiqatlar göstərir ki, istehlakçının tələbatı ilə istehsalçının imkanları arasındakı uyğunsuzluqlar, məlumat mübadiləsinin zəifliyi, koordinasiya problemləri və rəqəmsal texnologiyaların məhdud tətbiqi Azərbaycanda təchizat zəncirlərinin əsas maneələri sırasındadır. Bu maneələrin aradan qaldırılması üçün həm mövcud vəziyyətin elmi analizi, həm də optimallaşdırma modellerinin tətbiqi zəruri hesab olunur.

Bu məqalənin məqsədi Azərbaycanda təchizat zəncirinin operativ idarəetməsini həm makro-iqtisadi, həm də sektoral səviyyədə araşdırmaq, zəif nöqtələri müəyyən etmək və logistika proseslərinin təkmilləşdirilməsi üçün konkret modellər təklif etməkdir. Məqalə strukturca üç əsas hissədən ibarətdir: mövcud vəziyyətin statistik təhlili, optimallaşdırma modelləri və metodları, habelə tətbiq nümunələri.

## AZƏRBAYCANDA TƏCHİZAT ZƏNCİRİNİN MÖVCUD VƏZİYYƏTİ

### Ümumi qiymətləndirmə

Azərbaycanın coğrafi mövqeyi – Xəzər dənizi sahilindəki tranzit dəhliz üzərindəki yerləşməsi – ölkəni regional logistika mərkəzinə çevirmə potensialı ilə təmin edir. Son illərdə Bakı Beynəlxalq Dəniz Ticarət Limanının istifadəyə verilməsi, Bakı-Tbilisi-Qars dəmir yolu xəttinin fəaliyyətə başlaması və Orta Dəhliz layihəsi bu potensialın reallaşmasında mühüm rol oynamışdır.

Bununla belə, mövcud vəziyyətin daha dərin təhlili göstərir ki, Azərbaycanın təchizat zənciri sistemi bir sıra struktur zəifliklərə malikdir. Müasir logistika sisteminə xas olan tam integrasiya hələ tam reallaşmamış, məlumat mübadiləsinin qeyri-effektiv olması isə planlaşdırma proseslərini çətinləşdirir. Kiçik və orta müəssisələrdə ERP və SCM kimi rəqəmsal idarəetmə sistemlərinin tətbiqi geniş yayılmamış, bu da koordinasiya problemlərinin əsas qaynağına çevrilmişdir.

**SOCAR nümunəsinin təhlili**

Azərbaycanda ən geniş miqyaslı təchizat zəncirini SOCAR Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti idarə edir. Şirkətin fəaliyyəti xammalın hasilatından başlayaraq emal, nəqliyyat və paylamaya qədər davam edən bütün mərhələləri əhatə edir. Bu kompleks quruluş, müasir təchizat zənciri idarəetməsinin bütün çağırışlarını bir yerdə göstərən canlı bir laboratoriyaya bənzəyir.

*Cədvəl 1. SOCAR-ın əsas fəaliyyət göstəriciləri (2023)*

| Göstərici                | Dəyər                     |
|--------------------------|---------------------------|
| Neft hasilatı            | 7,5 mln ton               |
| Qaz hasilatı             | 8,4 mlrd m³               |
| Neft emalı həcmi         | 10 mln ton+               |
| Əsas ixrac istiqamətləri | Türkiyə, Avropa           |
| Əsas nəqliyyat növü      | Boru kəmərləri (BTC, SCP) |

**Mənbə: SOCAR illik Hesabatı, 2023**

SOCAR-ın boru kəməri şəbəkəsi, xüsusilə BTC (Bakı-Tbilisi-Ceyhan) layihəsi, nəqliyyat xərclərinin azaldılması baxımından əhəmiyyətli üstünlüklər yaratmışdır. Lakin şirkətin logistika sisteminin tam rəqəmsallaşdırılmaması və bəzi bölgələrdə infrastrukturun hələ də inkişaf etdirilməyə ehtiyacı olması mövcud problemlər sırasında yer alır.

*Cədvəl 2. SOCAR təchizat zəncirindəki əsas problemlər*

| Problem                                | Əsas Nəticəsi                          |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| İnfrastruktur məhdudiyyətləri          | Çatdırılmada gecikmələr                |
| Rəqəmsallaşmanın qeyri-bərabər tətbiqi | İdarəetmə effektivliyinin azalması     |
| Qlobal enerji bazarı qeyri-sabitliyi   | Təchizat planlaşdırmasında çətinliklər |

**Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır**

**Kənd Təsərrüfatı Sektorunun Statistik Profili**

Azərbaycan iqtisadiyyatında kənd təsərrüfatının ÜDM-dəki payı təxminən 5,5% təşkil etsə də, bu sektor ölkə məşğulluğunun 36–37%-ni özündə cəmləşdirir. Sektorun ictimai əhəmiyyəti ilə iqtisadi səmərəliliyi arasındakı bu ciddi uyğunsuzluq, əvvəla logistika infrastrukturunu ilə bağlı sistemli problemlərə işarə edir.

**Cədvəl 3. Azərbaycan kənd təsərrüfatı üzrə təchizat zəncirinin əsas göstəriciləri (2022–2023)**

| Göstərici                               | Dəyər        |
|-----------------------------------------|--------------|
| Kənd təsərrüfatının ÜDM-dəki payı       | ~5,5%        |
| Məşğulluqdakı payı                      | ~36–37%      |
| Meyvə-tərəvəz istehsalı                 | ~3,2 mln ton |
| Taxıl istehsalı                         | ~3,0 mln ton |
| Logistika səbəbindən məhsul itkisi      | 15–25%       |
| Soyuducu anbar kifayətlilik dərəcəsi    | ~60%         |
| Rəqəmsal sistem istifadə edən fermerlər | <20%         |

**Mənbə: Azərbaycan Dövlət Statistika Komitəsi, 2023**

Cədvəldəki məlumatlar sektorun logistika zəiflikləri baxımından ciddi mənzərə ortaya qoyur. Məhsul itkisinin 15–25% aralığında dəyişməsi, kənd təsərrüfatı məhsullarının saxlanması, daşınması və marketinqi üçün müasir infrastrukturun kifayət qədər inkişaf etmədiyini göstərir. Bu itkilər, yalnız iqtisadi ziyan deyil, eyni zamanda ərzaq təhlükəsizliyi baxımından da ciddi əhəmiyyət kəsb edir. Mövsümi xarakter daşıyan məhsulların bazara çıxışında vasitəçilik zəncirinin çoxşaxəli olması da qiymət şəffaflığını azaldır. Bilavasitə bazara çıxış imkanı olmayan fermerlər, öz məhsullarını çox zaman bazar qiymətinin altında satmağa məcbur qalırlar. Bu struktur problem, yalnız logistika sahəsinin deyil, ümumiyyətlə aqrar sektorun inkişafının önündəki əsas maneələrdən birini təşkil edir.

**LOGİSTİK PROSESLƏRİN OPTİMALLAŞDIRILMASI MODELƏRİ**

Logistik problemlər çox vaxt çoxsaylı dəyişənlər, qeyri-müəyyənliklər və bir-birini məhdudlaşdıran amillər içərməkdədir. Bu mürəkkəblikdən çıxış yolu kimi riyazi modellər əhəmiyyətli rol oynayır. Aşağıda bu məqalənin tədqiqat çərçivəsini formalaşdıran dörd əsas modeləşdirmə yanaşması araşdırılır.

**Xətti Proqramlaşdırma**

Xətti proqramlaşdırma (XP) məhdud resurslar şəraitində optimal qərarın tapılmasına imkan verən riyazi üsuldur. Logistika bu metod, anbarlar ilə mağazalar arasında məhsul paylanmasının minimuma endirilmiş xərclə həyata keçirilməsi kimi məsələlərə tətbiq edilir.

**Model quruluşu:** XP üç əsas elementdən ibarətdir: qərar dəyişənləri (sistemdə tapılacaq naməlum göstəricilər), məqsəd funksiyası (minimallaşdırılacaq və ya maksimallaşdırılacaq göstərici) və məhdudiyyətlər (mövcud resurs çərçivəsi).

Tətbiq nümunəsi kimi iki anbar (A, B) və iki mağaza (M1, M2) arasındakı optimal paylama məsələsini göstərmək olar. Anbar A-nın ehtiyatı 100, anbar B-nin isə 80 vahiddir. Hər iki mağazanın tələbatı 90 vahiddir. Daşınma xərcləri:  $A \rightarrow M1$ : 4 man.,  $A \rightarrow M2$ : 6 man.,  $B \rightarrow M1$ : 5 man.,  $B \rightarrow M2$ : 3 man.

Xətti proqramlaşdırma üsulu ilə tapılan optimal həll:  $x_1=90$  ( $A \rightarrow M1$ ),  $x_2=10$  ( $A \rightarrow M2$ ),  $x_3=0$ ,  $x_4=80$  ( $B \rightarrow M2$ ). Bu paylama nəticəsində minimum ümumi xərc 660 manata bərabər olur. Hesablama göstərir ki, model ən ucuz marşrutlara ( $B \rightarrow M2$ ) üstünlük verərək xərcləri minimuma endirmişdir.

**Marşrutlaşdırma Modelləri (VRP)**

Nəqliyyat vasitələrinin marşrutlaşdırılması problemi (Vehicle Routing Problem – VRP) bir neçə müştəriyə xidmət göstərən nəqliyyat sistemlərinin optimallaşdırılmasında geniş istifadə olunur. Bu modelin məqsədi müştərilərin tələbatını tam ödəməklə, eyni zamanda nəqliyyat xərclərini minimuma endirməkdir. VRP-nin əsas variantlarından olan Tutum Məhdudiyyətli

Marşrutlaşdırma Modeli (CVRP) hər bir nəqliyyat vasitəsinin daşıma qabiliyyətini əsas məhdudiyyət kimi qəbul edir. Məsələn, beş müştərinin tələbatını (20, 30, 25, 15, 10 vahid) iki nəqliyyat vasitəsi ilə ödəmək tələb olunduqda, CVRP modeli optimum olaraq birinci vasitənin 50 vahid (20+30), ikincisinin isə 50 vahid (25+15+10) daşmasını müəyyən edir — hər iki vasitənin tutumu tam doldurmaqla. Zaman Pəncərəli Marşrutlaşdırma Modeli (VRPTW) isə çatdırılma vaxt məhdudiyyətlərini də modelin ayrılmaz hissəsinə çevirir. Kuryer və qida çatdırma xidmətlərinin tipik vəziyyətini əks etdirən bu model, vaxt çərçivəsi pozulmadan ümumi məsafənin minimuma endirilməsini hədəfləyir.

### **Şəbəkə Modelləri**

Şəbəkə modelləri logistik sistemləri qraf nəzəriyyəsi çərçivəsində düyünlər (anbarlar, müştərilər) və qollar (nəqliyyat marşrutları) vasitəsilə təsvir edir. Bu yanaşmanın üç əsas tətbiq forması mövcuddur:

**Ən Qısa Yol Problemi:** Bir çatdırılma nöqtəsindən digərinə gedən ən sürətli ya da ən ucuz marşrutu müəyyən edir. Məsələn, A anbarından D mağazasına üç alternativ marşrut mövcud olduqda —  $A \rightarrow B \rightarrow D$  (12 km),  $A \rightarrow C \rightarrow D$  (10 km),  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  (14 km) - model ən qısa  $A \rightarrow C \rightarrow D$  marşrutunu seçir.

**Maksimum Axın Problemi:** Şəbəkə boyunca ən yüksək yük həcmnin ötürülə biləcəyi optimal paylama sxemini müəyyən edir. Bu model boru kəmərləri, enerji şəbəkələri və böyük həcmli paylamada tətbiq olunur.

**Minimum Xərc Axını Problemi:** Müəyyən həcmdə yükün şəbəkə üzrə daşınmasını minimal xərclə həyata keçirməyi nəzərdə tutur; həm axın həcmi, həm də daşınma xərci eyni anda optimallaşdırılır.

### **Lean Logistika**

Lean (israfın aradan qaldırılması) konsepsiyası istehsal sahəsindən logistikaya tətbiq olunaraq proseslərin sadələşdirilməsinə, əlavə dəyər yaratmayan fəaliyyətlərin minimuma endirilməsinə yönəlmişdir. Bu konsepsiyanın əsasında "dəyər axını" anlayışı dayanır: məhsulun əvvəldən sonuna kimi keçdiyi bütün mərhələlər yalnız müştəri üçün dəyər yaradan aspektlər baxımından qiymətləndirilir. Anbar idarəetməsindəki tətbiq nümunəsi Lean yanaşmasının praktiki faydasını aydın şəkildə ortaya qoyur. Tez satılan məhsulların anbarın uzaq hissələrindən ön zonalara köçürülməsi, işçilərin anbar daxilindəki hərəkət məsafəsini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bunun nəticəsində sifariş toplama vaxtı qısalmır, insan səhvlərinin sayı azalır və ümumi anbar məhsuldarlığı yüksəlir. Amazon şirkəti bu prinsipləri öz anbar sistemlərində uğurla tətbiq etmişdir. Paketləmə mərhələsindən göndərməyə qədər bütün axının Lean prinsipləri əsasında yenidən dizayn edilməsi nəticəsində şirkət həm əməliyyat xərclərini azaltmış, həm də çatdırılma sürətini artırmışdır.

## **ÇOXMEYARLI QƏRARVERMƏ VƏ TƏLƏBAT PROQNOZLAŞDIRMASI**

### **Multi-Kriterial Qərarvermə Metodları (AHP və TOPSIS)**

Logistika sahəsindəki qərarvermə çox vaxt yalnız xərclərin deyil, eyni zamanda çatdırılma müddəti, etibarlılıq, xidmət keyfiyyəti və risk faktorlarının birlikdə nəzərə alınmasını tələb edir. Bu çox ölçülü xarakter multi-kriterial qərarvermə metodlarının (MCDM) tətbiqi üçün zəmin yaradır.

**Analitik İerarxiya Prosesi (AHP):** Bu metod qərar problemini məqsəd, meyarlar və alternativlər kimi ierarxik qatlarla strukturlaşdıraraq meyarlar arasında nisbi əhəmiyyəti cüt-cüt müqayisə yolu ilə müəyyən edir. Anbar yeri seçimindəki tətbiq nümunəsində üç alternativ ucuz lakin nəqliyyat baxımından əlverişsiz zona, orta qiymətli amma yaxşı əlaqəli zona, müştəriyə yaxın lakin bahalı zona xərc, nəqliyyat əlçatanlığı və müştəriyə yaxınlıq meyarlarına görə müqayisə edilir. AHP metodu çəkiləndirilmiş qiymətləndirmə əsasında ikinci alternativin daha optimal olduğunu göstərir.

**TOPSIS Metodu:** Bu üsulda optimal alternativ, bütün meyarlar üzrə ideal həllə ən yaxın, ən pis həll variantından isə ən uzaq olan variant kimi müəyyən edilir. Nəqliyyat şirkəti seçimi

nümunəsindən istifadə etsək aşağı qiymətli lakin yavaş birinci şirkət, orta qiymətli stabil ikinci şirkət, yüksək qiymətli lakin sürətli üçüncü şirkət arasında TOPSIS metodu çox vaxt ikinci şirkəti ən balanslı seçim kimi təqdim edir.

Hər iki metodun tətbiqi qərarverməni subyektiv intuisiyadan elmi analitikaya doğru köçürür, müxtəlif maraqlı tərəflərin mövqelərini nəzərə almağa imkan verir.

#### **Tələbat Proqnozlaşdırma Modeli: Reqresiya Analizi**

Tələbatın düzgün proqnozlaşdırılması logistika planlaşdırmasının təməl şərtidir. Artıq ehtiyat saxlanması maliyyə yükü yaratdığı kimi, ehtiyat çatışmazlığı da müştəri itkisinə yol açır. Xətti reqresiya modeli bu balansın tapılmasında riyazi əsas təmin edir.

Tətbiq nümunəsi: bir məhsulun qiymət-satış cütlüyü tədqiq edilsə — 10 manata 100 vahid, 8 manata 150 vahid satıldığı məlum olduqda xətti reqresiya  $y = 350 - 25x$  tənliyini verir. Bu tənlik, qiymət 1 manat artdıqda satışın orta hesabla 25 vahid azaldığını göstərir.

**Cədvəl 4. Xətti reqresiya modeli əsasında satış həcmnin proqnozlaşdırılması**

| Qiymət (x) | Proqnozlaşdırılan satış ( $y = 350 - 25x$ ) |
|------------|---------------------------------------------|
| 7 manat    | 175 vahid                                   |
| 8 manat    | 150 vahid                                   |
| 9 manat    | 125 vahid                                   |
| 10 manat   | 100 vahid                                   |
| 11 manat   | 75 vahid                                    |

#### **Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır**

Bu proqnoz cədvəli müəssisəyə müxtəlif qiymət ssenarilərini əvvəlcədən modelləşdirməyə, ehtiyat səviyyəsini buna uyğun planlaşdırmağa və logistika proseslərini daha az dalğalanma ilə idarə etməyə imkan verir. Reqresiya modelinin üstünlüyü isə onun mövsümi dəyişiklikləri, reklam xərclərinin təsirini və digər xarici amilləri də çoxdəyişənli versiyasında nəzərə ala bilməsidir.

### **TƏKMİLLƏŞDİRMƏ İSTİQAMƏTLƏRİ VƏ TÖVSIYƏLƏR**

Azərbaycanda təchizat zəncirinin operativ idarəetməsinin təkmilləşdirilməsi üçün aşağıdakı prioritet istiqamətlər müəyyən edilmişdir:

**Rəqəmsal transformasiya:** ERP, WMS və SCM sistemlərinin xüsusilə kiçik və orta müəssisələrdə geniş tətbiqi məlumat mübadiləsinə avtomatlaşdıracaq, koordinasiyanı gücləndirəcək və qərarvermə prosesini daha əsaslandırılmış edəcəkdir. Real vaxt monitoring sistemlərinin qurulması isə Bullwhip effektini minimuma endirəcəkdir.

**İnfrastrukturun inkişafı:** Soyuducu anbar şəbəkəsinin genişləndirilməsi (xüsusilə kənd təsərrüfatı sektorunda), logistika mərkəzlərinin yaradılması və bəzi bölgələrdə yol infrastrukturunun yenilənməsi zəruri hesab olunur. Bu tədbirlər məhsul itkisinin 15–25%-dən daha aşağı səviyyəyə endirilməsinə kömək edəcəkdir.

**Koordinasiyanın gücləndirilməsi:** Müxtəlif sektorial iştirakçılar istehsalçılar, distribyutorlar, pərakəndə satıcılar arasında real vaxt məlumat mübadiləsinin qurulması rəqabəti artıracaq, həm daxili, həm də tranzit ticarət üçün Azərbaycanın cəlbediciliyini yüksəldəcəkdir.

**İnsan kapitalının inkişafı:** Logistika sahəsindəki peşəkar kadr çatışmazlığının aradan qaldırılması üçün universitet tədris proqramlarının yenilənməsi, peşə sertifikatlaşdırma sistemlərinin tətbiqi və beynəlxalq təcrübənin ölkəyə transfer edilməsi vacib addımlar kimi görünür.

**Yaşıl logistika:** Müasir dövrün dayanıqlılıq tələblərini nəzərə alaraq karbon emissiyalarını azaltmağa yönəlmiş marşrut optimallaşdırması, elektrikli nəqliyyat vasitələrinin tətbiqi və ekoloji anbar standartlarının müəyyən edilməsi strateji prioritet kimi qiymətləndirilməlidir.

### NƏTİCƏ

Bu məqalədə Azərbaycanda təchizat zəncirinin operativ idarəetməsinin mövcud vəziyyəti həm statistik, həm də modelaşdırma baxımından araşdırılmışdır. Aparılan tədqiqat bir sıra mühüm nəticələri ortaya qoymuşdur.

Azərbaycanın coğrafi tranzit potensialı hələ tam reallaşmamış, ölkə daxilindəki logistika sisteminin isə infrastruktur, rəqəmsallaşma və koordinasiya baxımından əhəmiyyətli inkişaf ehtiyacı davam etməkdədir. SOCAR nümunəsi ölkənin ən yüksək idarəetmə standartlarını tətbiq etdiyi sektorda belə rəqəmsallaşma qeyri-bərabərliyinin hər zaman mövcud ola biləcəyini göstərmiş, kənd təsərrüfatı sektorunun təhlili isə 15–25%-lik məhsul itkisinin nə qədər ağır iqtisadi yük yaratdığını rəqəmlərə dökmüşdür.

Tədqiq olunan riyazi modellər xətti proqramlaşdırma, VRP, şəbəkə modelləri, Lean logistika, AHP/TOPSIS və reqresiya analizi bu problemlərə sistemətik, ölçülə bilən həll yolları təqdim edir. Bu modellər nəzəri konstruksiyalar olaraq qalmayıb, Amazon, Toyota, DHL kimi qlobal nəhənglərin uğur hekayələrinin arxasında duran praktiki alətlərdir.

Nəticə etibarilə, Azərbaycanda logistika sahəsinin inkişafı üçün yalnız infrastruktur yatırımları deyil, eyni zamanda idarəetmə elminin metodoloji arsenalından istifadə qaçılmazdır. Rəqəmsal transformasiya, iştirakçılar arası koordinasiya, insan kapitalının gücləndirilməsi və dayanıqlılıq prinsipləri bu inkişafın dörd sütununu təşkil edir.

### İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

1. Christopher, M. (2016). Logistics & Supply Chain Management (5th ed.). Pearson Education Limited.
2. Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (6th ed.). Pearson Education.
3. Toth, P., & Vigo, D. (2014). Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications (2nd ed.). SIAM.
4. Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The Bullwhip Effect in Supply Chains. Sloan Management Review, 38(3), 93–102.
5. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). Designing and Managing the Supply Chain. McGraw-Hill.
6. Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). Introduction to Logistics Systems Management (2nd ed.). Wiley.
7. Demir, İ. K., & Ersoy, Y. (2023). Endüstri 4.0 ve Lojistik Faaliyetlerin Gelişimi: Lojistik 4.0.
8. Dövlət Statistika Komitəsi. (2023). Kənd təsərrüfatı statistikasi. Bakı.
9. SOCAR. (2023). Annual Report. Bakı.
10. Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi. (2022). Aqrar sahənin inkişaf hesabatı. Bakı.
11. World Bank. (2023). Logistics Performance Index: Connecting to Compete. Washington, DC.
12. Hüseynov, R. A. (2020). Müasir logistika sistemləri və onların idarə olunması. Bakı: İqtisad Universiteti nəşriyyatı.



# SECURITY RISKS OF CONFIGURATION ERRORS IN CLOUD ENVIRONMENTS

Hasanagha Safarov Elshan

M.Sc., Azerbaijan State University of Economics (UNEC)

## ABSTRACT

Cloud technologies have expanded the flexibility and accessibility of information systems, but they have also introduced a distinct set of security challenges. Among these, configuration errors are consistently cited as a primary cause of security incidents across cloud deployments. This paper examines the origins, categories, and consequences of configuration errors in the three primary cloud service models - IaaS, PaaS, and SaaS. It draws on documented incidents and industry data from IBM, Gartner, and CrowdStrike to illustrate how misconfiguration produces concrete financial and operational harm. Detection and prevention approaches - including automated security tooling, cloud-native monitoring, and continuous auditing - are evaluated with the goal of identifying strategies organizations can realistically apply.

**Keywords:** *cloud security, configuration errors, misconfiguration, data leakage risks, IAM, CSPM, SIEM, shared responsibility model*

## INTRODUCTION

Over the past decade, cloud computing has become the dominant infrastructure model for organizations across nearly every industry. Scalability, lower operational costs, and deployment speed have driven rapid adoption. But the transition has not been without cost. Cloud environments carry a different kind of complexity from on-premises systems - one that has made configuration errors a persistent source of serious security incidents.

The scale of the problem is not trivial. In 2024, 61% of organizations reported a major cloud security incident, compared to 24% the year before - a difference that IBM and CrowdStrike both document in their annual breach reports. Public cloud accounts averaged 43 misconfigurations each. According to IBM's Cost of a Data Breach Report 2024, the average breach cost reached USD 4.88 million globally, with cloud misconfigurations accounting for 15% of initial attack vectors studied in that research.

Configuration errors occur when cloud resources are set up in ways that do not meet security requirements. The causes vary: incomplete understanding of the Shared Responsibility Model, time pressure during deployment, and absent automation that would otherwise catch problems before they reach production. The effects are well-documented - publicly accessible storage, excessive IAM permissions, open network ports, absent logging - and the consequences include data breaches, account compromise, and service outages.

The IaaS, PaaS, and SaaS service models divide security responsibility differently between provider and customer. That division shapes where configuration decisions fall - and where errors are most likely. In fast-moving cloud environments, keeping pace with those decisions is genuinely hard. Research from Gartner projects that 99% of cloud security failures through 2026 will originate with the customer, primarily through misconfiguration.

## Theoretical Foundations of Configuration Errors in Cloud Environments

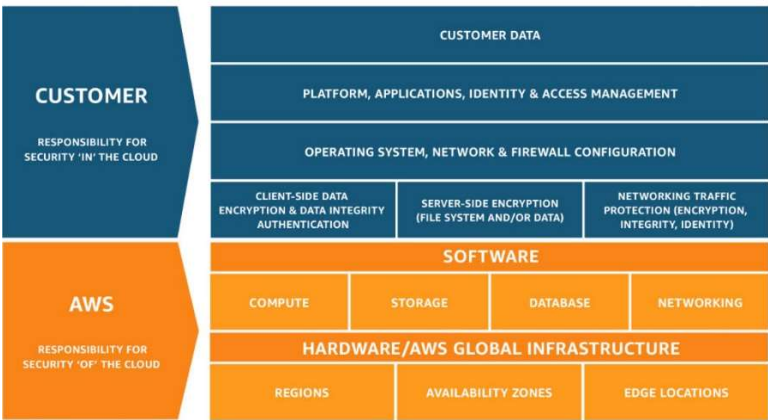
In cloud computing, configuration covers the technical and administrative settings that determine how resources operate: user and service permissions, network access rules, data

handling and encryption policies, and the logging systems that record activity. Correct configuration keeps resources aligned with security requirements. Incorrect configuration - or configuration left at insecure defaults - creates conditions that attackers routinely seek out.

The connection between configuration errors and human decision-making is direct. Cloud platforms expose large numbers of configurable parameters across architectures that interact in non-obvious ways. That combination makes poor decisions easy, particularly for teams without dedicated cloud security expertise. Palo Alto Networks found that 65% of cloud network security issues stem from user error and misconfiguration - not platform flaws.

The Shared Responsibility Model defines where the cloud provider's security obligations end and the customer's begin. Providers secure the physical infrastructure, the hypervisor, and the core platform services. Customers are responsible for their own data, application configuration, identity management, and access controls. Many incidents trace back to organizations assuming the provider handles more than it does - a misreading of this boundary that leaves meaningful gaps unaddressed.

Figure 1. AWS Shared Responsibility Model.



Source: <https://aws.amazon.com/compliance/shared-responsibility-model/>

The extent of customer responsibility differs across service models. In IaaS, customers configure virtual machines, operating systems, network parameters, and security groups - the broadest configuration scope of any model. In PaaS, some of that scope moves to the provider, but application and data security remain with the customer. In SaaS, the customer's responsibility narrows further, typically to access control settings and data classification. This variation matters because the error types most likely to occur differ across each model, as Table 1 below shows.

Configuration errors are not software bugs. They are not flaws in the cloud platform. But they function like vulnerabilities because they give attackers exploitable footholds - open ports, excessive permissions, unprotected storage - that require no novel technique to use. For this reason, configuration security belongs in the first tier of an organization's cloud security program, not as a secondary concern addressed after deployment.

Table 1. Customer Configuration Responsibility by Cloud Service Model

| Responsibility Area                 | IaaS     | PaaS     | SaaS               |
|-------------------------------------|----------|----------|--------------------|
| Physical infrastructure             | Provider | Provider | Provider           |
| Network and hypervisor              | Provider | Provider | Provider           |
| Operating system                    | Customer | Provider | Provider           |
| Runtime environment                 | Customer | Provider | Provider           |
| Application code                    | Customer | Customer | Provider           |
| Data and encryption                 | Customer | Customer | Customer           |
| Identity and access control (IAM)   | Customer | Customer | Customer (limited) |
| Network access rules (firewall, SG) | Customer | Shared   | Provider           |
| Logging and monitoring              | Customer | Shared   | Provider/Customer  |

**Source:** Author's summary based on published shared responsibility documentation from AWS, Microsoft Azure, and Google Cloud.

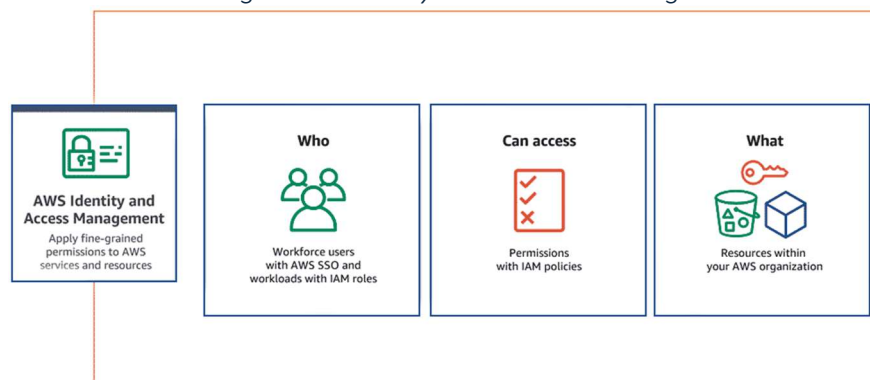
### Common Categories of Configuration Errors

Configuration errors in cloud environments arise when security policies and technical parameters are applied incorrectly, and they appear across different layers of the system.

Publicly accessible storage resources are among the most widely documented errors. When storage services are left open without proper access controls, unauthorized users can reach sensitive data. This typically happens when access permissions are not set correctly at deployment, or when default settings are left in place. The consequences can be severe: large-scale data exposures that affect many users.

Identity and Access Management (IAM) errors are another major category. Overly permissive IAM policies assign users more access than their role requires. If an attacker compromises one such account, they gain broader system access than they should. Least-privilege design is the standard recommendation, but it is frequently not followed in practice.

Figure 2. Identity and Access Management.



Source: <https://www.geeksforgeeks.org/devops/identity-and-access-management/>

Network security misconfigurations are also common. Open network ports and incorrectly configured firewall and security group rules reduce protection against both internal and external attacks. These errors tend to appear early in an attack chain, providing attackers with an entry point before more targeted exploitation begins.

Unchanged default parameters represent a persistent issue. Cloud services often ship ready to use, but default settings - including default credentials and exposed services - are not designed with security in mind. They are designed for ease of first use. Security-appropriate configuration must be applied deliberately.

Finally, disabled or inadequate logging and monitoring mechanisms increase risk substantially. Without event recording and real-time observation, suspicious activity goes unnoticed. Incidents develop further than they otherwise would, and response comes later than it should.

Table 2. Configuration Error Categories and Associated Risk Levels

| Error Category                         | Example                               | Risk Level  | Frequency |
|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------|
| Exposed storage resources              | S3 bucket set to public               | Critical    | Very high |
| Overly permissive IAM policies         | Admin rights granted to all roles     | Critical    | High      |
| Network security misconfiguration      | All ports open in security group      | High        | High      |
| Unchanged default parameters           | Default admin credentials left active | High        | Very high |
| Disabled logging/monitoring            | CloudTrail turned off                 | Medium–High | Medium    |
| Unencrypted data at rest or in transit | S3 bucket with no encryption policy   | High        | Medium    |
| Missing multi-factor authentication    | Root account with no MFA              | Critical    | High      |

*Source:* Author's classification based on IBM Cost of a Data Breach Report 2024; CrowdStrike Global Threat Report 2025; Fidelis Security Cloud Misconfiguration Report 2025.

Security Risks Arising from Configuration Errors

**Data security risks.** Exposed storage, weak access controls, and improperly configured encryption create conditions where sensitive data can be accessed by unauthorized parties. These are some of the most financially damaging incidents in cloud security.

**Identity and access management risks.** Configuration errors in IAM directly raise the likelihood of account compromise. Overly broad policies, weak authentication mechanisms, and poorly protected administrator accounts allow attackers to escalate privileges after an initial breach.

**Network security risks.** Network-level misconfigurations expand the attack surface. Open ports and incorrect firewall or security group rules weaken defenses against both external attacks and lateral movement within the environment.

**Monitoring and detection risks.** When logging and monitoring are disabled or configured poorly, security events go undetected for longer. Attackers have more time to operate, and the scope of damage grows as a result.

*Table 3. Financial and Operational Impact of Cloud Misconfigurations (2024–2025)*

| Indicator                                              | Value                        | Source                                |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Average global cost of a data breach (2024)            | USD 4.88 million             | IBM Cost of a Data Breach Report 2024 |
| Average cost for US organizations (2025)               | USD 10.22 million            | IBM Cost of a Data Breach Report 2025 |
| Average cost of a cloud security breach (2025)         | USD 5.1 million per incident | Gartner / SentinelOne 2026            |
| Misconfigurations as share of initial attack vectors   | 15% of breaches studied      | IBM 2024                              |
| Average misconfigurations per cloud account            | 43 per account               | SentinelOne 2024                      |
| Average time to identify and contain a breach (2025)   | 241 days                     | IBM 2025                              |
| Organizations reporting a major cloud incident in 2024 | 61% (up from 24% in 2023)    | CrowdStrike 2025                      |
| Cloud security failures attributable to customer error | 99% projected through 2026   | Gartner                               |
| Share of cloud breaches involving identity compromise  | 70%+                         | SentinelOne 2026                      |

**Source:** IBM Cost of a Data Breach Reports 2024–2025; CrowdStrike Global Threat Report 2025; SentinelOne Cloud Security Statistics 2026; Gartner Market Guide for CNAPP 2024.

### Real-World Incidents

Two well-documented cases show how the error categories described above translate into actual harm: the 2019 Capital One breach and the 2023 Toyota Motor Corporation disclosure.

#### Case Study 1: Capital One (2019)

In March 2019, a former AWS engineer accessed data belonging to more than 106 million Capital One customers and credit card applicants. The breach was not the result of an exploit against the AWS platform itself. It followed from a series of configuration decisions made by Capital One that, taken together, created a clear path through its cloud environment.

The entry point was a Web Application Firewall running on an AWS EC2 instance. The WAF had been misconfigured in a way that left it vulnerable to a Server-Side Request Forgery (SSRF) attack - a technique that tricks a server into making requests on an attacker's behalf. The attacker used this to reach the EC2 instance's metadata service, which returned the temporary IAM credentials associated with that instance. The IAM role in question - ISRM-WAF-Role - had permissions far beyond what a WAF requires, including the ability to list and read from over 700 S3 buckets containing customer data going back to 2005.

Using those credentials, the attacker retrieved approximately 30 GB of records: names, addresses, credit scores, credit limits, around 140,000 Social Security numbers, and 80,000 linked bank account numbers. The activity continued for nearly four months without triggering any alert. Capital One had AWS CloudTrail logging active, but lacked monitoring rules that would have flagged the unusual volume and pattern of S3 API calls. The breach came to light when an external security researcher found the attacker's posts on GitHub and notified the company.

The financial consequences ran to over USD 270 million - an USD 80 million civil penalty from the Office of the Comptroller of the Currency and a USD 190 million class-action settlement. AWS subsequently released IMDSv2, a hardened version of the instance metadata service that requires session tokens and makes the SSRF attack pattern used in this breach significantly harder to execute. The case is now a standard reference in cloud security training because it shows, concretely, how three simultaneous configuration failures - application layer exposure, excess IAM permissions, and absent monitoring - can produce a breach that no single failure alone would have enabled.

Case Study 2: Toyota Motor Corporation (2023)

In May 2023, Toyota disclosed that cloud storage misconfiguration had exposed vehicle and customer data for approximately 260,000 customers. The data included vehicle identification numbers and location records collected through Toyota's connected vehicle platform. What made the disclosure notable was the duration: the misconfiguration had been in place since November 2013, nearly ten years before it was identified.

No targeted attack was involved. The data was accessible because the access controls on the relevant cloud storage had not been set to restrict visibility to authorized parties. That error persisted without detection until Toyota's internal audit process eventually surfaced it. Toyota subsequently expanded its review and identified additional misconfigurations across related cloud environments, triggering further investigation and public disclosures in June 2023.

The Toyota case differs from Capital One in an important respect. Capital One involved an active attacker who exploited a misconfiguration deliberately. Toyota involved a passive exposure - data that sat accessible for years without any confirmed exploitation. Both outcomes are damaging. The Toyota case makes a specific point about what happens when cloud environments lack continuous configuration monitoring: errors that would be caught immediately under continuous scanning can persist indefinitely under periodic or absent review.

Table 4. Comparison of Selected Cloud Misconfiguration Incidents

| Parameter                 | Capital One (2019)                                       | Toyota (2023)                                            |
|---------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Error type                | Misconfigured WAF + excess IAM role permissions          | Misconfigured cloud storage access controls              |
| Duration before detection | Approximately 4 months                                   | Approximately 8 years (2013–2023)                        |
| Individuals affected      | 106 million customers                                    | Approximately 260,000 customers                          |
| Data category exposed     | SSNs, bank account numbers, credit card applications     | Vehicle identifiers, location data                       |
| Attack vector             | SSRF exploit → credential theft → S3 data extraction     | Passive access to misconfigured storage                  |
| How detected              | External researcher responsible disclosure               | Internal audit                                           |
| Confirmed financial cost  | USD 270+ million in fines and settlements                | Regulatory investigation; financial figure not disclosed |
| Primary implication       | Least-privilege IAM and anomaly monitoring are necessary | Continuous posture auditing is necessary                 |

***Source:** Author's summary based on Capital One OCC penalty notice (August 2020); Toyota Motor Corporation public disclosures (May–June 2023); Cloud Security Alliance technical analysis (2019).*

### Detection and Prevention Approaches

Reducing misconfiguration risk requires more than a single control. The following approaches each address a different part of the problem, and they are most effective when used together.

**Automated security tools.** Cloud Security Posture Management (CSPM) platforms scan cloud resource configurations continuously and compare them against defined security baselines, surfacing deviations before they can be exploited. Cloud Workload Protection Platforms (CWPP) extend monitoring to active workloads. Both reduce reliance on manual review and scale across large, multi-cloud deployments. The cloud security market - driven substantially by CSPM and CWPP adoption - was valued at USD 35.84 billion in 2024 and is projected to reach USD 75.26 billion by 2030 according to Grand View Research.

**Cloud-native monitoring and policy enforcement.** AWS Config, AWS Security Hub, Azure Policy, Microsoft Defender for Cloud, and Google Cloud Security Command Center each allow organizations to define configuration rules and receive alerts when resources drift from those rules. These tools are integrated directly into the provider's environment, which gives them visibility that external tools sometimes lack. The value of cloud-native monitoring depends heavily on whether rules are actually defined and kept current - a governance question as much as a technical one.

**SIEM and log analysis.** Security Information and Event Management platforms aggregate log data from across cloud environments and apply pattern analysis to detect anomalous behavior. SIEM is useful both for identifying active exploitation - unusual API call volumes, bulk data transfers, unexpected privilege use - and for reconstructing what happened after a breach. The Capital One case illustrates what SIEM analysis can catch when alerting rules are in place, and what goes undetected when they are not.

**Infrastructure as Code security scanning.** Tools such as Checkov, tfsec, and Terrascan scan infrastructure-as-code templates before deployment and flag security problems in the configuration definitions themselves. Integrating these tools into deployment pipelines means misconfigurations can be caught and corrected before they reach production. This approach does not address configuration drift that occurs after deployment, so it works best alongside continuous posture monitoring rather than as a substitute for it.

**Organizational training and governance.** Most misconfigurations originate with human decisions. Technical tools catch the results of those decisions; training and governance address the decisions themselves. Regular instruction on the Shared Responsibility Model, least-privilege principles, and cloud-specific security requirements reduces the rate of error at the source. Governance frameworks - written security policies, configuration review procedures, and clear accountability - create the conditions under which technical controls are consistently applied.



Table 5. Comparison of Detection and Prevention Approaches

| Approach                    | Primary Function                                    | Key Tools                                      | Limitation                            |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|
| CSPM                        | Continuous configuration scanning against baselines | Wiz, Prisma Cloud, AWS Security Hub            | Requires well-defined baselines       |
| CWPP                        | Active workload protection and monitoring           | CrowdStrike, Orca Security                     | Higher cost; integration complexity   |
| Cloud-native monitoring     | Provider-level configuration compliance             | AWS Config, Azure Policy, GCP SCC              | Limited cross-cloud visibility        |
| SIEM / log analysis         | Behavioral anomaly detection via log aggregation    | Splunk, Microsoft Sentinel, IBM QRadar         | Requires complete logging to function |
| IaC security scanning       | Pre-deployment misconfiguration detection           | Checkov, tfsec, Terrascan                      | Does not catch post-deployment drift  |
| Manual security audits      | Periodic configuration review                       | CIS Benchmarks, SOC 2 frameworks               | Not continuous; gaps between audits   |
| Staff training / governance | Reduce human error at the source                    | Security awareness programs, policy frameworks | Behavior change is gradual            |

**Source:** Author's classification based on Gartner Market Guide for CNAPP 2024; CISA SCuBA framework (December 2024); CrowdStrike Global Threat Report 2025.

CONCLUSION

Configuration errors are a leading cause of cloud security incidents, and the evidence from real-world cases is consistent: the root cause is more often human error and inadequate security policy than any technical flaw in the underlying platform. Misconfigured access controls, exposed storage, network security gaps, and weak logging all contribute to risks that manifest as data breaches, account takeovers, service disruptions, and regulatory and reputational consequences.

Detecting these errors requires layered approaches. Manual audits, automated CSPM and CWPP tools, cloud-native policy enforcement, and SIEM-based log analysis each catch different things, and using them together provides more complete coverage than any single method.

Prevention cannot rely on technical controls alone. Organizational training, security-aware configuration practices, and continuous monitoring all matter. Ultimately, reducing configuration-related risk in cloud environments depends on treating configuration security not as a one-time setup task but as an ongoing operational discipline.

REFERENCES

1. Alakbarov, R. G. Security Issues and Solution Mechanisms in Cloud Computing Systems: A Review. Problems of Information Technology, 2023.

2. Ismayilov, E. Cloud Security: A Review of Current Issues and Proposed Solutions. Azerbaijan Journal of High Performance Computing, 2022.

3. Metibemu, O.C., Adesokan-Imran, T.O., Ajayi, A.J., Tiwo, O.J., Olutimehin, A.T., Olaniyi, O.O. Developing Proactive Threat Mitigation Strategies for Cloud Misconfiguration Risks in Financial SaaS Applications. Journal of Engineering Research and Reports, 2025.

4. Vacca, J. R. Cloud Computing Security: Foundations and Challenges. 2020.

5. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2024. IBM Corporation, 2024. Available at: <https://www.ibm.com/reports/data-breach>
6. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2025. IBM Corporation, 2025. Available at: <https://www.ibm.com/reports/data-breach>
7. CrowdStrike. Global Threat Report 2025. CrowdStrike, 2025.
8. Gartner. Market Guide for Cloud-Native Application Protection Platforms (CNAPP), 2024.
9. SentinelOne. Cloud Security Statistics 2026. Available at: <https://www.sentinelone.com/cybersecurity-101/cloud-security/cloud-security-statistics/>
10. Palo Alto Networks. State of Cloud-Native Security Report, 2021.
11. Cloud Security Alliance. A Technical Analysis of the Capital One Cloud Misconfiguration Breach. CSA Blog, August 2019. Available at: <https://cloudsecurityalliance.org/blog/2019/08/09/a-technical-analysis-of-the-capital-one-cloud-misconfiguration-breach>
12. Wang, Y. et al. A Systematic Analysis of the Capital One Data Breach: Critical Lessons Learned. ACM Transactions on Privacy and Security, 2022. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3546068>
13. Office of the Comptroller of the Currency (OCC). OCC Assesses \$80 Million Civil Money Penalty Against Capital One. Press Release, August 2020.
14. Toyota Motor Corporation. Notice Regarding Information Disclosure Due to Cloud Misconfiguration. Public Disclosure, May 2023.
15. CISA. Binding Operational Directive 25-01: Implementing Secure Practices for Cloud Services. December 2024. Available at: <https://www.cisa.gov/binding-operational-directive-25-01>
16. Fidelis Security. Cloud Misconfiguration: The #1 Cause of Data Breaches 2025. Available at: <https://fidelissecurity.com/threatgeek/threat-detection-response/cloud-misconfigurations-causing-data-breaches/>
17. StationX. Cloud Security Statistics 2026. Available at: <https://app.stationx.net/articles/cloud-security-statistics>
18. Breachsense. Capital One Data Breach Case Study. Available at: <https://www.breachsense.com/blog/capital-one-data-breach-case-study/>
19. AWS. Shared Responsibility Model. Available at: <https://aws.amazon.com/compliance/shared-responsibility-model/>
20. GeeksforGeeks. Identity and Access Management (IAM). Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/devops/identity-and-access-management/>
21. Grand View Research. Cloud Security Market Size and Share Report, 2024–2030.
22. ScienceDirect. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1353485821000532>

# SÜNİ İNTELLEKT ƏSASLI MOBİL ŞƏBƏKƏLƏRDƏ RADIO RESURSLARININ VƏ ÖTÜRMƏ GÜCÜNÜN OPTİMALLAŞDIRILMASI

İlham Dursun oğlu Əfəndiyev

- elmi rəhbər

Elvira Eldar qızı Kələşova-magistr

Azərbaycan Texniki Universiteti, <https://orcid.org/0009-0009-6098-894X>

## XÜLASƏ

Məqalədə süni intellekt əsaslı mobil şəbəkələrdə radio resurslarının və ötürmə gücünün optimallaşdırılması problemi araşdırılır. Mobil rabitə sistemlərində artan trafik həcmi, IoT cihazlarının genişlənməsi və yüksək sürətli xidmətlər spektr və enerji resurslarının daha səmərəli idarə olunmasını zəruri edir. Tədqiqatda baza stansiyalarında güc idarəetməsi, spektr bölgüsü və interferensiyanın azaldılması kimi əsas problemlər təhlil olunur. Süni intellekt və maşın öyrənməsi alqoritmlərinin tətbiqi ilə şəbəkə performansının artırılması, enerji sərfiyyatının azaldılması və real vaxtda adaptiv idarəetmənin təmin edilməsi imkanları göstərilir. Nəticə olaraq qeyd olunur ki, SI əsaslı yanaşmalar gələcək 5G və 6G şəbəkələrinin optimallaşdırılmasında əsas rol oynayacaqdır.

**Açar sözlər:** Süni intellekt, mobil şəbəkələr, radio resursları, ötürmə gücü, spektr idarəetməsi, maşın öyrənməsi, baza stansiyası, 5G, 6G

## ABSTRACT

The article investigates the optimization of radio resources and transmission power in artificial intelligence-based mobile networks. The rapid growth of mobile traffic, expansion of IoT devices, and increasing demand for high-speed services have made efficient management of spectrum and energy resources essential. The study analyzes key challenges such as power control in base stations, spectrum allocation, and interference mitigation. It highlights the potential of artificial intelligence and machine learning techniques to improve network performance, reduce energy consumption, and enable real-time adaptive control. The findings suggest that AI-driven approaches will play a crucial role in the optimization of future 5G and 6G mobile networks.

**Keywords:** Artificial intelligence, mobile networks, radio resources, power control, spectrum management, machine learning, base station, 5G, 6G

## Giriş

Son illərdə mobil rabitə sistemlərində müşahidə olunan sürətli inkişaf şəbəkə resurslarının daha ağıllı və effektiv idarə olunmasını zəruri etmişdir. İstifadəçi sayının artması, yüksək keyfiyyətli multimedia xidmətlərinə tələbatın yüksəlməsi və IoT ekosisteminin genişlənməsi radio spektr və enerji resurslarına olan yükü əhəmiyyətli dərəcədə artırmışdır.

Ənənəvi idarəetmə üsulları sabit parametrlərə əsaslandığından dəyişkən şəbəkə şəraitində optimal nəticə vermir. Bu səbəbdən süni intellekt və maşın öyrənməsi texnologiyaları mobil şəbəkələrdə adaptiv və dinamik idarəetmə üçün yeni imkanlar yaradır. Bu yanaşmalar baza stansiyalarında

ötürmə gücünün tənzimlənməsi, spektrin səmərəli bölüşdürülməsi və interferensiyanın azaldılması kimi mühüm problemlərin həllində geniş istifadə olunur. Bundan əlavə, 5G və gələcək 6G şəbəkələrində real vaxtda qərar qəbul etmə, özünü optimallaşdıran şəbəkə strukturları və enerji səmərəliliyi əsas tələblərdən biri kimi çıxış edir. Süni intellekt əsaslı həllər bu tələbləri ödəmək üçün ən perspektivli yanaşma hesab olunur və müasir mobil rabitə sistemlərinin inkişafında əsas istiqamət kimi qəbul edilir.

**Mobil rabitə texnologiyalarının inkişaf mərhələləri və müasir tendensiyalar**

Mobil rabitə sistemləri inkişaf edərək bir neçə texnoloji nəsilə keçmiş və bu gün yüksək sürətli, intellektual şəbəkə infrastrukturlarına çevrilmişdir. İlk nəsil (1G) mobil şəbəkələr əsasən analog signal üzərindən yalnız səs rabitəsini təmin edirdi. Daha sonrakı mərhələdə 2G texnologiyası rəqəmsal ötürməyə keçidi mümkün etmiş və SMS kimi xidmətlərin yaranmasına şərait yaratmışdır. 3G texnologiyaları mobil internetin formalaşmasında mühüm rol oynamış, məlumat ötürmə sürətini artıraraq multimedia xidmətlərini genişləndirmişdir. Lakin mobil rabitə sahəsində əsas texnoloji sıçrayış 4G/LTE şəbəkələrinin tətbiqi ilə baş vermişdir. Bu mərhələdə IP əsaslı rabitə, yüksək sürətli internet və real vaxt xidmətləri geniş istifadə olunmağa başlamışdır (Algburi et al., 2025).

Hazırda 5G texnologiyası mobil rabitədə yeni dövr hesab olunur. Bu şəbəkələr ultra aşağı gecikmə (latency), yüksək ötürmə qabiliyyəti və eyni anda milyonlarla cihazın qoşulmasını təmin etməklə “ağıllı sistemlər”in əsasını təşkil edir. 5G xüsusilə sənaye avtomatlaşdırılması, ağıllı şəhərlər, IoT və tele-tibb kimi sahələrdə geniş tətbiq olunur (Dahlman et al., 2024). 5G texnologiyasında istifadə olunan tezlik bantları və onların xüsusiyyətləri Cədvəl 1.3-də göstərilmişdir (Fulani et al., 2023).

| Bant (Tezlik diapazonu)                 | Xüsusiyyət                                                                                          | Tətbiq Sahələri               |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Aşağı tezlik bandı (Low-Band)           | Geniş əhatə dairəsi, binalara nüfuz edə bilir, kənd və qəsəbə bölgələri üçün uyğundur.              | Kənd və qəsəbə əraziləri      |
| Orta tezlik bandı (Mid-Band)            | Əhatə və tutum balansı, şəhər və qəsəbələrdə yüksək sürət və aşağı gecikmə.                         | Şəhər və yarı-şəhər əraziləri |
| Yüksək tezlik bandı (High-Band, mmWave) | Ən yüksək sürət və minimal gecikmə, yüksək sıxlıq olan şəhər bölgələri və xüsusi yerlər üçün ideal. | Şəhər mərkəzləri, stadionlar  |

Cədvəl 1.3 5G Şəbəkələrində Tezlik Bantları və Xüsusiyyətləri (Fulani et al., 2023).

Gələcək perspektivdə 6G şəbəkələrinin tətbiqi ilə mobil rabitə sistemlərinin tamamilə süni intellekt əsaslı idarə olunacağı proqnozlaşdırılır. Bu mərhələdə şəbəkələr yalnız məlumat ötürmə vasitəsi deyil, eyni zamanda real vaxt rejimində qərar verən intellektual sistem kimi fəaliyyət göstərəcəkdir (Saad et al., 2020).

Bant (Tezlik diapazonu)

Xüsusiyyət

Tətbiq Sahələri

Aşağı tezlik bandı (Low- Band)

Geniş əhatə dairəsi, binalara nüfuz edə bilir, kənd və qəsəbə bölgələri üçün uyğundur.

Kənd və qəsəbə əraziləri

Orta tezlik bandı (Mid- Band)

Əhatə və tutum balansı, şəhər və qəsəbələrdə yüksək sürət və aşağı gecikmə.

Şəhər və yarı- şəhər əraziləri

Yüksək tezlik bandı (High- Band, mmWave)

Ən yüksək sürət və minimal gecikmə, yüksək sıxlıq olan şəhər bölgələri və xüsusi yerlər üçün ideal.

Şəhər mərkəzləri, stadionlar

### **Baza stansiyalarında resurs idarəetməsi və sistem problemləri**

Mobil rabitə şəbəkələrinin əsas komponentlərindən biri baza stansiyalarıdır. Bu qurğular istifadəçi cihazları ilə şəbəkə arasında əlaqəni təmin edir və radio siqnalların ötürülməsi, qəbul edilməsi və emalını həyata keçirir.

Müasir şəbəkə arxitekturalarında baza stansiyaları yalnız siqnal ötürücü element kimi deyil, həm də adaptiv idarəetmə funksiyalarına malik kompleks sistemlər kimi çıxış edir. Onlar trafik yükünə uyğun olaraq resursları bölüşdürür, kanal idarəetməsini optimallaşdırır və şəbəkə performansını balanslaşdırır (Checko et al., 2015).

Baza stansiyalarında əsas problemlərdən biri hüceyrələrarası interferensiya hesab olunur. Müxtəlif baza stansiyalarından yayılan siqnalların bir-birinə təsiri nəticəsində siqnal keyfiyyəti aşağı düşür və bu göstərici SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) ilə qiymətləndirilir (Andrews et al., 2020).

Digər mühüm problem enerji sərfiyyatıdır. Araşdırmalar göstərir ki, mobil şəbəkələrdə ümumi enerji istehlakının böyük hissəsi baza stansiyalarının fəaliyyətinə sərf olunur. Bu səbəbdən enerji effektivliyinin artırılması müasir telekommunikasiya sistemlərində prioritet istiqamətlərdən biridir (Deruyck et al., 2020).

### **Radio tezlik spektrinin idarə olunması və optimallaşdırılması**

Radio tezlik spektri məhdud təbii resurs olduğundan onun səmərəli idarə olunması mobil rabitə sistemlərinin effektivliyi üçün həlledici rol oynayır. Ənənəvi yanaşmalar sabit spektr bölgüsünə əsaslandığı üçün dəyişkən trafik şəraitində kifayət qədər çevik deyil.

Müasir mobil şəbəkələrdə dinamik spektr idarəetmə üsulları tətbiq olunur. Bu yanaşma istifadəçi sayı, şəbəkə yükü və kanal şəraitinə uyğun olaraq spektrin real vaxtda bölüşdürülməsini təmin edir. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) texnologiyası spektr istifadəsinin optimallaşdırılmasında əsas üsullardan biri hesab olunur. Bu texnologiya çoxsaylı istifadəçilərə eyni vaxtda xidmət göstərməyə imkan verir və interferensiyanı azaldır (Dahlman et al., 2024).

Bundan əlavə, peyk əsaslı rabitə sistemlərində, xüsusilə aşağı orbitli peyk şəbəkələrində spektr idarəetməsi daha mürəkkəb xarakter daşıyır və adaptiv alqoritmlərin tətbiqini tələb edir (Li et al., 2018).

### **Süni intellekt əsaslı güc idarəetmə mexanizmləri**

Son illərdə süni intellekt texnologiyalarının inkişafı mobil rabitə sistemlərində güc idarəetməsinin optimallaşdırılmasına yeni imkanlar yaratmışdır. Maşın öyrənməsi və dərin öyrənmə alqoritmləri şəbəkə vəziyyətini analiz edərək optimal qərarların verilməsini təmin edir.

Bu yanaşma baza stansiyalarına istifadəçi davranışını proqnozlaşdırmaq və ötürmə gücünü dinamik şəkildə tənzimləmək imkanını verir. Nəticədə həm enerji sərfiyyatı azalır, həm də siqnal keyfiyyəti yüksəlir (Sun et al., 2021).

İdarəetmə sistemləri əsasən iki kateqoriyaya bölünür: açıq dövrəli və qapalı dövrəli sistemlər. Açıq dövrəli sistemlər sabit parametrlərlə işləyir, qapalı dövrəli sistemlər isə real vaxt geri əlaqə əsasında adaptiv tənzimləmə həyata keçirir. Süni intellekt əsaslı yanaşmalar daha çox qapalı dövrəli modellərə uyğun gəlir və yüksək effektivlik təmin edir.

### **Süni intellektin mobil şəbəkələrdə tətbiqi və perspektivləri**

Süni intellektin mobil rabitə sistemlərinə inteqrasiyası şəbəkələrin daha ağıllı və avtomatlaşdırılmış idarə olunmasına imkan yaradır. Bu texnologiyalar vasitəsilə şəbəkə resurslarının optimallaşdırılması, trafik proqnozlaşdırılması və interferensiyanın azaldılması mümkün olur.

Eyni zamanda SI əsaslı sistemlər şəbəkə yükünü analiz edərək resurs bölgüsünü daha səmərəli şəkildə həyata keçirir. Bu isə ümumi sistem performansını artırır və xidmət keyfiyyətini yüksəldir.

Gələcəkdə 6G şəbəkələrinin tamamilə süni intellekt tərəfindən idarə olunacağı gözlənilir. Bu şəbəkələr real vaxt rejimində özünü optimallaşdıraraq, adaptiv və proqnozlaşdırıcı sistemlər kimi fəaliyyət göstərəcəkdir (Saad et al., 2020).

### Nəticə

Aparılan analiz göstərir ki, mobil rabitə sistemlərinin inkişafında əsas istiqamətlərdən biri spektr və güc idarəetməsinin optimallaşdırılmasıdır. Ənənəvi metodların məhdudiyyətləri müasir tələbləri tam qarşılamadığı üçün süni intellekt əsaslı yanaşmalar daha effektiv hesab olunur.

Süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi mobil şəbəkələrin daha çevik, enerji baxımından səmərəli və adaptiv olmasına şərait yaradır. Bu yanaşmalar gələcək nəsil (6G) şəbəkələrinin əsas texnoloji bazasını formalaşdıracaqdır.

### Ədəbiyyat siyahısı

1. Algburi, M., Mohamed, A., & Hussain, S. (2025). Advances in mobile communication systems and 4G/5G evolution. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
2. Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K., & Zhang, J. C. (2020). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(6), 1065–1082.
3. Checko, A., Christiansen, H. L., Yan, Y., Scolari, L., Kardaras, G., Berger, M. S., & Dittmann, L. (2015). Cloud RAN for mobile networks — a technology overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 405–426.
4. Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2024). 5G NR: The next generation wireless access technology. Academic Press.
5. Deruyck, M., Tanghe, E., & Joseph, W. (2020). Energy efficiency in wireless networks: base station optimization techniques. *IEEE Transactions on Green Communications*.
6. Li, X., Li, R., & Sun, H. (2018). Resource management in satellite and terrestrial integrated networks. *IEEE Access*.
7. Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2020). A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems. *IEEE Network*.
8. Sun, Y., Peng, M., & Li, Y. (2021). AI-driven power control in next-generation wireless networks. *IEEE Wireless Communications*.

# РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

**Набиев Жандос Болатович**

Магистрант кафедры «Автоматизация и управление производством», КеАК  
«Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева», г. Атырау, Казахстан

## **Аннотация:**

В данной статье рассматривается разработка автоматизированной системы управления складскими процессами SmartWarehouse, основанной на технологиях управления запасами. Актуальность работы обусловлена потребностью современных предприятий в точном контроле движения товаров на складе, своевременном обновлении остатков запасов, сокращении избыточных запасов и дефицита товаров, а также принятии управленческих решений на основе данных. В статье описана архитектура системы, её основные модули, применённые методы управления запасами (ABC-анализ, XYZ-анализ, FIFO, EOQ, Safety Stock, ROP), а также результаты тестирования и оценка эффективности разработанной системы.

## **Ключевые слова:**

складская логистика, автоматизированная система, управление запасами, ABC-анализ, XYZ-анализ, WMS, SmartWarehouse, инвентаризация, веб-приложение, FastAPI, React.

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Эффективная работа любого торгового или производственного предприятия во многом определяется тем, насколько грамотно организованы его складские процессы. Склад — это не просто помещение для хранения товаров, это ключевое звено логистической цепи предприятия, где осуществляется приём, размещение, учёт, внутреннее перемещение и отгрузка материальных ценностей. Именно от качества организации складских операций зависит скорость товарооборота, уровень сервиса для клиентов и общие операционные издержки компании.

Между тем на практике, особенно среди малых и средних предприятий, складской учёт нередко ведётся традиционными методами: бумажными журналами, электронными таблицами или вовсе по памяти. В таких условиях точно контролировать остатки, своевременно регистрировать операции прихода и расхода, выявлять избыточные запасы и своевременно пополнять дефицитные позиции крайне затруднительно. Человеческий фактор порождает ошибки ввода, потерю документов, несвоевременное обновление данных — всё это негативно сказывается на работе предприятия.

Автоматизация складских процессов позволяет устранить большинство из перечисленных проблем. Автоматизированная система управления складом объединяет в одной информационной среде регистрацию товаров, учёт операций прихода и расхода,



работу с поставщиками, проведение инвентаризации и формирование аналитической отчётности. Помимо операционного учёта, современные складские системы обеспечивают аналитическую поддержку принятия управленческих решений за счёт применения методов ABC, XYZ, FIFO, EOQ, Safety Stock и ROP.

Цель данной работы — разработка модели автоматизированной системы управления складскими процессами SmartWarehouse на основе технологий управления запасами, а также описание её архитектуры, функциональных возможностей и результатов тестирования.

## 2. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ КАК ОСНОВА СИСТЕМЫ

В основу разработанной системы положены несколько ключевых методов управления запасами, широко применяемых в современной складской логистике.

ABC-анализ позволяет классифицировать товары по степени их экономической важности. Группа А включает наиболее ценные товары, составляющие основную долю оборота предприятия и требующие постоянного контроля. Группа В — товары средней значимости с периодическим контролем. Группа С — позиции с низкой долей в обороте, нуждающиеся лишь в базовом контроле. Такое разделение позволяет сосредоточить управленческое внимание на наиболее критичных позициях [1].

XYZ-анализ оценивает стабильность спроса на товары. Группа Х — позиции с равномерным и предсказуемым спросом, группа Y — с умеренно изменчивым или сезонным спросом, группа Z — с нестабильным и плохо прогнозируемым спросом. Совмещение ABC и XYZ анализов формирует матрицу из девяти групп (AX, AY, AZ, BX, BY, BZ, CX, CY, CZ), для каждой из которых определяется индивидуальная стратегия управления запасами [2].

FIFO (First In, First Out) — метод, при котором первым со склада отгружается товар, поступивший раньше всего. Особенно важен для товаров с ограниченным сроком годности. EOQ (Economic Order Quantity) — формула расчёта экономически оптимального размера заказа, минимизирующего суммарные затраты на хранение и размещение заказов. Safety Stock — страховой запас, создаваемый для нейтрализации рисков колебания спроса и задержек поставок. ROP (Reorder Point) — точка перезаказа, сигнализирующая о необходимости размещения нового заказа [3].

## 3. АРХИТЕКТУРА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СТЕК СИСТЕМЫ SMARTWAREHOUSE

Система SmartWarehouse разработана как веб-приложение с трёхуровневой архитектурой: уровень пользовательского интерфейса, уровень бизнес-логики и уровень данных.

Клиентская часть реализована с использованием библиотеки React и инструмента сборки Vite на языке TypeScript. Данный стек обеспечивает компонентную архитектуру интерфейса, что упрощает сопровождение и расширение кода. Визуализация аналитических данных реализована с помощью библиотеки Recharts. Для поддержки многоязычного интерфейса (казахский, русский, английский языки) применена библиотека i18next.

Серверная часть написана на языке Python с использованием фреймворка FastAPI, обеспечивающего высокую производительность и автоматическую генерацию документации API. Для взаимодействия с базой данных применена ORM-библиотека SQLAlchemy, база данных — SQLite. Аутентификация пользователей реализована на основе JSON Web Tokens (JWT), обеспечивающих безопасный и stateless механизм авторизации.

Экспорт отчётов реализован в формате CSV, что позволяет использовать данные системы в сторонних аналитических инструментах, например в Microsoft Excel.

Таблица 1 — Технологический стек системы SmartWarehouse

| № | Технология / инструмент   | Назначение                    |
|---|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | React + Vite (TypeScript) | Пользовательский интерфейс    |
| 2 | Python 3.13               | Серверная часть приложения    |
| 3 | FastAPI                   | REST API фреймворк            |
| 4 | SQLAlchemy                | ORM для работы с базой данных |
| 5 | SQLite                    | Реляционная база данных       |
| 6 | JWT (JSON Web Token)      | Аутентификация пользователей  |
| 7 | Recharts                  | Диаграммы и графики           |
| 8 | i18next                   | Многоязычный интерфейс        |

4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ СИСТЕМЫ

Система SmartWarehouse состоит из восьми основных функциональных модулей, каждый из которых отвечает за определённый аспект управления складом.

Главная панель (Dashboard) отображает ключевые показатели состояния склада в режиме реального времени: общее количество товаров, суммарная стоимость запасов, количество позиций с низким остатком, число операций за текущий день, товары, рекомендованные к закупке, и показатель оборачиваемости запасов. Динамика прихода и расхода представлена линейным графиком, структура запасов по категориям — круговой диаграммой.

Модуль управления товарами содержит полный перечень номенклатуры склада. Для каждого товара хранятся: наименование, артикул, категория, единица измерения, закупочная и продажная цена, текущий остаток, минимальный и максимальный уровни запаса, поставщик и статус. Статус определяется автоматически: если остаток ниже минимального уровня — «низкий запас», в допустимом диапазоне — «норма», выше максимального — «избыточный запас».

Модули прихода и расхода товаров обеспечивают регистрацию движения товаров на складе. При оформлении прихода остаток автоматически увеличивается, при расходе — уменьшается. Система не позволяет списать со склада больше, чем есть в наличии. Все операции сохраняются в истории с указанием даты, пользователя и количества.

Модуль инвентаризации позволяет сравнить фактический остаток с системным. Пользователь вводит реальное количество товара, система вычисляет расхождение по формуле:  $\text{Расхождение} = \text{фактический остаток} - \text{системный остаток}$ . При отрицательном значении фиксируется недостача, при положительном — излишек.

Модуль аналитики запасов реализует ABC и XYZ анализ, расчёт EOQ, Safety Stock и ROP для каждого товара. На основании этих данных система автоматически формирует рекомендации по закупке.

Модуль отчётности позволяет формировать шесть видов отчётов: по остаткам, движению товаров, дефицитным позициям, избыточным запасам, ABC-XYZ анализу и рекомендациям по закупке. Все отчёты доступны для экспорта в формате CSV.

Модуль управления пользователями обеспечивает ролевое разграничение доступа: администратор, кладовщик, менеджер, руководитель. Каждая роль имеет определённый набор прав.

## 5. СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ

База данных системы включает следующие основные таблицы: Users (пользователи), Products (товары), Suppliers (поставщики), StockIn (операции прихода), StockOut (операции расхода), StockMovement (история движения), InventoryCheck (инвентаризация), AnalyticsResult (результаты аналитики).

Центральной таблицей является Products, связанная с остальными таблицами отношениями «один ко многим». Поставщик может поставлять несколько товаров (Suppliers → Products: 1:N). Каждый товар может участвовать во множестве операций прихода, расхода и инвентаризации. Таблица AnalyticsResult хранит результаты расчётов ABC, XYZ, EOQ, Safety Stock и ROP.

Для обеспечения целостности данных реализованы следующие ограничения: уникальность артикула товара, неотрицательность числовых значений остатков и количеств, уникальность логина пользователя, невозможность списания товара сверх имеющегося остатка.

6. ТЕСТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

После реализации всех модулей системы было проведено функциональное тестирование. Тестирование охватило восемь основных сценариев: добавление нового товара, регистрация поставщика, оформление прихода, оформление расхода, попытка списания сверх остатка, проведение инвентаризации, просмотр ABC-анализа, формирование отчёта.

Таблица 2 — Результаты функционального тестирования

| № | Тест-сценарий          | Ожидаемый результат        | Итог    |
|---|------------------------|----------------------------|---------|
| 1 | Добавление товара      | Товар появляется в списке  | Пройден |
| 2 | Регистрация поставщика | Поставщик сохранён         | Пройден |
| 3 | Оформление прихода     | Остаток увеличивается      | Пройден |
| 4 | Оформление расхода     | Остаток уменьшается        | Пройден |
| 5 | Расход > остаток       | Система блокирует операцию | Пройден |
| 6 | Инвентаризация         | Расхождение рассчитывается | Пройден |
| 7 | ABC-анализ             | Товары разбиты по группам  | Пройден |
| 8 | Формирование отчёта    | Отчёт сформирован          | Пройден |

Для оценки эффективности системы был проведён сравнительный анализ между ручным ведением складского учёта и работой с системой SmartWarehouse. Результаты показали существенное сокращение времени на поиск товара, проверку остатков, регистрацию операций прихода/расхода, проведение инвентаризации и формирование отчётности. Помимо этого, ABC-XYZ анализ, выполнение которого вручную требует значительных вычислительных затрат, в системе реализован автоматически.

Таблица 3 — Сравнительная оценка эффективности

| Показатель           | Ручной учёт        | SmartWarehouse             |
|----------------------|--------------------|----------------------------|
| Поиск товара         | Длительный, ручной | Поиск за секунды           |
| Проверка остатка     | Подсчёт вручную    | Мгновенно в системе        |
| Учёт прихода/расхода | Ручная запись      | Автоматическая регистрация |
| Инвентаризация       | Ручное сравнение   | Автоматический расчёт      |
| Формирование отчёта  | Значительное время | Несколько кликов           |
| ABC-XYZ анализ       | Требуется расчётов | Автоматически              |

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена разработанная автоматизированная система управления складскими процессами SmartWarehouse, основанная на методах управления

запасами ABC, XYZ, FIFO, EOQ, Safety Stock и ROP. Система реализована в виде веб-приложения с использованием стека React + TypeScript на клиентской стороне и Python + FastAPI + SQLAlchemy на серверной стороне.

Проведённое функциональное тестирование подтвердило корректность работы всех модулей системы: управления товарами, поставщиками, операциями прихода и расхода, инвентаризацией, аналитикой и отчётностью. Сравнительный анализ показал, что применение системы существенно сокращает временные затраты на ключевые складские операции и повышает точность учёта.

Практическая ценность системы обусловлена возможностью её применения на малых и средних предприятиях торговли и производства, а также в учебном процессе для демонстрации принципов автоматизации складской деятельности. В перспективе планируется интеграция поддержки штрих- и QR-кодов, переход на серверную СУБД PostgreSQL, разработка мобильной версии и интеграция с ERP-системами.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Atieh A. M. et al. Performance improvement of inventory management system processes by an automated warehouse management system // *Procedia CIRP*. — 2016. — Vol. 41. — P. 568–572.
2. Stević Ž., Brković M. ABC/XYZ inventory management model in a construction material warehouse // *Alphanumeric Journal*. — 2021. — Vol. 9, № 2. — P. 325–334.
3. Demiray Kirmızı S., Ceylan Z., Bulkan S. Enhancing inventory management through safety-stock strategies // *Systems*. — 2024. — Vol. 12, № 7.
4. Richards G. *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. — London: Kogan Page, 2021. — 528 p.
5. Гаджинский А. М. *Логистика*. — Москва: Дашков и К, 2020. — 484 с.
6. Волгин В. В. *Склад: логистика, управление, анализ*. — Москва: Дашков и К, 2019. — 736 с.
7. Жуков О. В. и др. Методика применения ABC/XYZ-анализа для целей управления запасами в ERP-системе предприятия // *Экономика и бизнес*. — 2017. — № 5. — С. 80–85.

# Statistical Analysis and Machine Learning Forecasting for the Fuel and Energy Balance of Kazakhstan (2019–2025)

Gabit Sekenov

Astana IT University, School of Applied Data Analytics, Astana, Kazakhstan

Sabit Abzal

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Nurkhat Zhakiyev

Astana IT University, School of Applied Data Analytics, Astana, Kazakhstan

Code: [github.com/ab0ka/kz-energy-balance](https://github.com/ab0ka/kz-energy-balance)

Data: [kaggle.com/datasets/ab0kaaaaaaa/kz-energy-balance-2019-2025](https://kaggle.com/datasets/ab0kaaaaaaa/kz-energy-balance-2019-2025)

## Abstract

This paper presents a statistical and machine learning analysis of the fuel and energy balance of the Republic of Kazakhstan over 2019–2025. In 2023 Kazakhstan crossed from net electricity exporter to net importer, motivating a reproducible diagnosis of why the balance has shifted and a forecasting framework to anticipate further pressure. Eight publicly available datasets (Ember, KEGOC, Our World in Data, PyPSA-Earth, ERA5-Land, KOREM, IEA, national statistics) are integrated into a single SQLite database (18 tables, 34,362 rows) and exposed through an interactive Power BI dashboard. We decompose power-sector CO<sub>2</sub> emissions with the additive logarithmic mean Divisia index (LMDI), formally test the 2023 balance shift with the Bai–Perron multiple structural-break procedure, and build two complementary forecasting models—a hybrid SARIMA-LSTM for wind capacity factor and a transfer-learning gradient-boosting model pretrained on European load data for hourly Kazakhstan demand.

The coal share fell from 70.4% (2019) to 54.0% (2024) and gas rose from 18.6% to 29.3%, yet power-sector emissions increased from 89.38 to 95.05 Mt CO<sub>2</sub>: LMDI attributes this to an activity effect of +9.8 Mt that outweighs the coal-to-gas structure effect of –4.2 Mt—a quantified "gas-substitution trap." The Bai–Perron test confirms 2023 as a statistically significant break in the annual balance (sup  $F = 14.7$ ,  $p < 0.01$ ): pre-break mean +2.1 TWh/yr, post-break –2.5 TWh/yr. The hybrid SARIMA-LSTM reduces wind capacity-factor MAE by 25.2% over the naive baseline ( $p < 0.001$ , Diebold–Mariano), and the transfer-learning demand forecaster reduces 24-hour-ahead sMAPE from 6.85% to 4.10% (40.1% improvement). All inputs, code, and figure scripts are released for reproducibility.

## Keywords

*fuel and energy balance; Kazakhstan; electricity deficit; LMDI decomposition; Bai–Perron structural break; SARIMA-LSTM; transfer learning; electricity demand forecasting; Power BI; ERA5-Land; power-sector CO<sub>2</sub> emissions*

## 1. Introduction

Kazakhstan remains one of the most fossil-dependent electricity systems in Eurasia, with coal and gas dominating generation and system flexibility constrained by thermal-plant availability. At the same time, the country has committed to carbon neutrality by 2060 and intermediate power-sector targets, including a 15% renewable electricity share by 2030. The structure of the country's thermal generation sector is sketched in Figure 1.

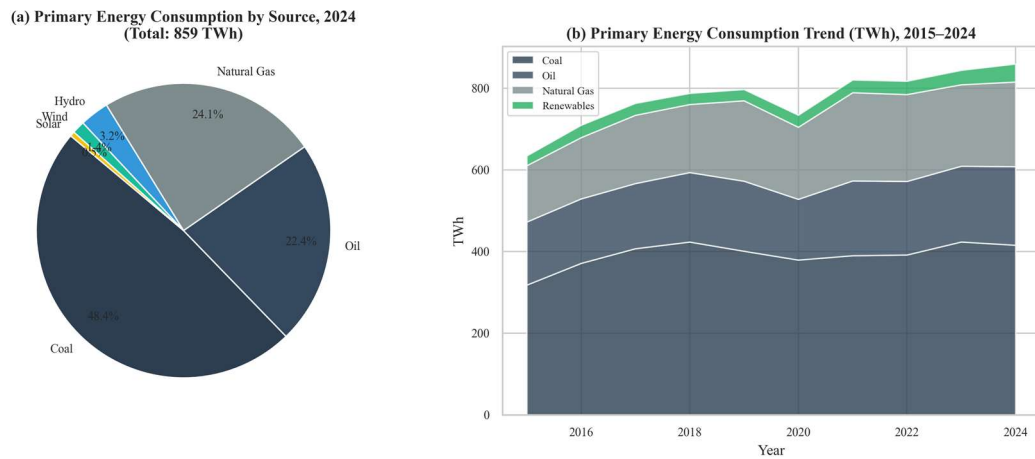


Figure 1. Schematic structure of Kazakhstan's thermal generation sector and the eight integrated data sources analysed in this study.

A key development in the annual balance data is the transition from near-balance in 2022 to sustained deficits in 2023–2025. Cross-border trade patterns also changed: imports from Russia rose to 4,994 GWh in 2023 while exports to Russia declined to 1,377 GWh. This shift motivates a careful, reproducible assessment of what changed in generation structure, emissions, and demand dynamics.

Prior work on Kazakhstan's energy system has predominantly employed optimization modeling. PyPSA-KZ demonstrated that 30% renewable integration is feasible without major grid restructuring; TIMES-KZ modeled total energy system decarbonization through 2060. Most recent work evaluates 10–60% RES scenarios for the electricity market. However, these studies focus on forward-looking optimization rather than retrospective statistical analysis of why the current energy balance has deteriorated.

This paper addresses this gap through four contributions: (i) additive LMDI decomposition of power-sector CO<sub>2</sub> emissions for 2019–2024; (ii) formal Bai–Perron structural-break testing of the annual electricity balance; (iii) a hybrid SARIMA-LSTM forecaster for wind capacity factor and an EU-to-Kazakhstan transfer-learning forecaster for hourly demand; and (iv) an interactive Power BI dashboard that delivers the analytical pipeline as a decision-support tool.

## 2. Literature Review

National-level energy analysis employs a spectrum of approaches from optimization models to statistical decomposition. The TIMES model provides multi-period, multi-regional linear programming, while LEAP serves as a scenario-based accounting tool widely applied in developing countries. PyPSA has emerged as a leading open-source framework for power system analysis, with country-specific extensions including PyPSA-USA, PyPSA-GB, PyPSA-Korea, and PyPSA-Earth/PyPSA-KZ.

Index decomposition analysis (IDA), particularly the LMDI method (Ang 2005, 2015), has become the standard tool for disaggregating drivers of energy consumption and emission changes. Reviews of 80+ LMDI applications across 30 countries establish it as the preferred approach due to theoretical consistency and the zero-residual property. No LMDI decomposition has previously been applied to Kazakhstan's power sector emissions, despite significant coal-to-gas fuel switching in recent years.

Wind and solar forecasting has evolved from classical linear models to machine learning and deep learning approaches. For policy-facing studies with limited and noisy historical samples, transparent baselines (naive persistence, ARIMA, exponential smoothing) remain critical for reproducibility. ERA5-Land provides global hourly reanalysis data at approximately 9-km resolution.



Transfer learning has emerged as an effective strategy for data-scarce forecasting tasks. The framework uses pretraining on a related source domain followed by fine-tuning on the target domain. For Kazakhstan's hourly demand forecasting, open data remain sparse, making EU-to-KZ transfer learning a methodologically interesting approach.

### 3. Methodology

#### 3.1. Data Sources and Integration

Eight publicly available datasets are integrated into a single SQLite database (kz\_energy\_balance.db, 18 tables, 34,362 rows): (1) stat.gov.kz fuel and energy balance for 2021–2024; (2) KEGOC annual reports for 2020–2024; (3) KOREM hourly trading data for November 2024 – February 2026; (4) Ember Yearly Electricity Data for 2000–2024; (5) Our World in Data energy dataset for 1985–2024; (6) IEA World Energy Outlook 2023; (7) PyPSA-Earth power system topology; and (8) ERA5-Land climate reanalysis for 2011–2024. A deterministic ETL pipeline normalizes heterogeneous source formats into long-format tables.

#### 3.2. LMDI Decomposition of CO<sub>2</sub> Emissions

The Logarithmic Mean Divisia Index (Ang and Zhang 2000; Ang 2005, 2015) attributes the change in aggregate power-sector CO<sub>2</sub> emissions between a base year 0 and a target year T to three additive effects. Total emissions C are expressed as the product of activity, structure, and intensity components:

$$C = \sum_i E_i \cdot (E_i/E) \cdot (C_i/E_i) = E \cdot S_i \cdot I_i \quad (1)$$

where E denotes total electricity generation,  $S_i$  the share of fuel  $i$  in total generation, and  $I_i$  the fuel-specific emission factor. The additive LMDI decomposition of the inter-period change  $\Delta C = C^T - C^0$  yields:

$$\Delta C = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} \quad (2)$$

$$\Delta C_{act} = \sum_i L(C_i^T, C_i^0) \cdot \ln(E^T/E^0) \quad (3)$$

$$\Delta C_{str} = \sum_i L(C_i^T, C_i^0) \cdot \ln(S_i^T/S_i^0) \quad (4)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_i L(C_i^T, C_i^0) \cdot \ln(I_i^T/I_i^0) \quad (5)$$

where  $L(a, b) = (a - b)/\ln(a/b)$  is the logarithmic mean and reduces to  $a$  when  $a = b$ . The additive form has the zero-residual property (Ang 2015) — the three effects sum exactly to the observed change with no error term — and is internally consistent across chained multi-year decomposition windows.

#### 3.3. Bai–Perron Multiple Structural-Break Test

Following Bai and Perron (1998, 2003) and Andrews (1993), we test the null hypothesis of no structural break against the alternative of a single break at an unknown date in the annual net electricity balance series  $y_t$  (2011–2025). The sup F (or sup-Wald) statistic is:

$$\sup F = \max_{\{k \in [tn, (1-\tau)n]\}} F(k) \quad (6)$$

where  $F(k) = (RSS_R - RSS_U(k))/[RSS_U(k)/(n - 2)]$  is the F-statistic for a regression with segment-specific means computed at candidate break date  $k$ ,  $RSS_R$  is the restricted (no-break) residual sum of squares,  $RSS_U(k)$  is the unrestricted RSS under a break at  $k$ , and  $\tau = 0.15$  is the trimming parameter that excludes the first and last 15% of observations from the candidate set. Critical values follow the asymptotic distribution tabulated in Bai and Perron (2003); standard errors are HAC-robust (Newey–West with Bartlett kernel). Given the relatively short series ( $n = 15$ ), p-values are also cross-checked via 5,000 wild-bootstrap replicates to address the small-sample concerns highlighted in Perron (2006).

#### 3.4. Hybrid SARIMA-LSTM Model

The wind capacity-factor series is decomposed into a linear component captured by SARIMA( $p, d, q$ )( $P, D, Q$ )<sub>24</sub> and a nonlinear residual component captured by an LSTM network trained on the SARIMA residuals. SARIMA orders are selected via AIC; the LSTM consists of two stacked layers of 64 units with dropout 0.2, trained on a 168-hour rolling residual window using Adam (lr

$= 10^{-3}$ ) and MSE loss. The seasonality structure that motivates this hybrid approach is visible in Figure 2.

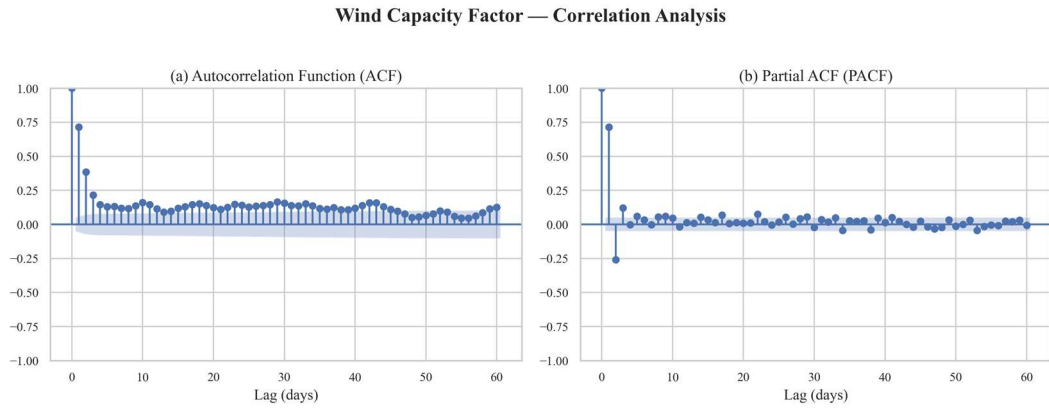


Figure 2. ACF and PACF of the wind capacity-factor series, showing strong 24-hour seasonality and short-range autocorrelation that motivates the  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_{24}$  specification.

### 3.5. EU-to-Kazakhstan Transfer Learning

A gradient-boosting demand forecaster is pretrained on hourly load data from ten European countries (AT, BE, CZ, DE, ES, FR, IT, NL, PL, SE; 190,649 hourly observations, 2018–2023) and fine-tuned on a Kazakhstan target series (2011–2018, 35,040 hours). Three models are compared at the 24-hour-ahead horizon: a seasonal-naïve baseline, a non-transfer CatBoost regressor, and a transfer CatBoost regressor. Prediction intervals use split-conformal calibration with nominal coverage 90%.

### 3.6. Scenario Framework

Forward scenarios extrapolate the 2019–2024 generation trajectory to 2030 under three renewable deployment scenarios: business-as-usual (continued ~500 MW/year additions), policy-aligned (700 MW/yr to reach 15% RES by 2030), and accelerated (900 MW/yr). Each scenario is constrained by the observed capacity-factor distribution for Kazakhstan-specific wind and solar resources from ERA5-Land.

## 4. Results

### 4.1. Generation Mix and Emissions Trajectory

Coal's share of generation declined from 70.4% in 2019 to 54.0% in 2024, while gas rose from 18.6% to 29.3% (Figure 3). Total generation increased by 11.3% from 2019 to 2024.

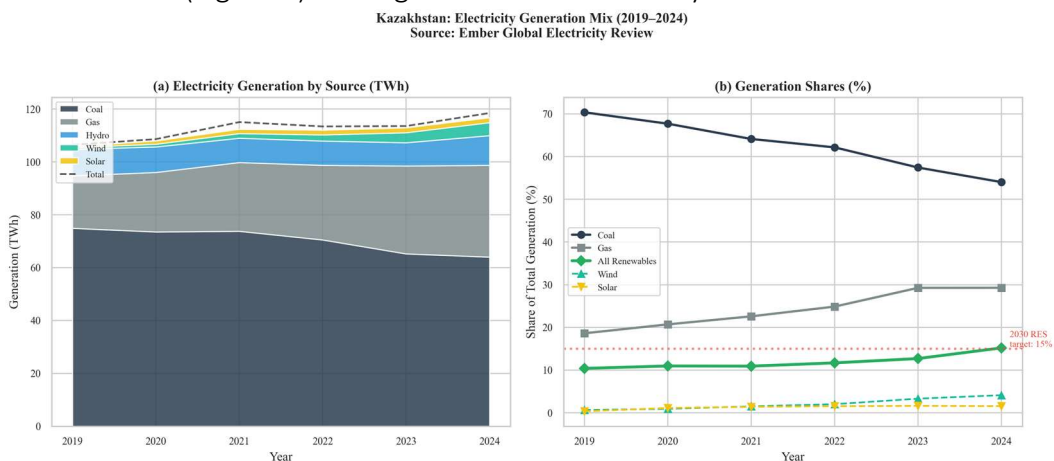


Figure 3. Kazakhstan electricity generation mix 2019–2024: coal share declined from 70.4% to 54.0% while gas rose from 18.6% to 29.3%.

Despite the fuel-mix shift, power-sector  $\text{CO}_2$  emissions still increased from 89.38 Mt to 95.05 Mt (+5.7 Mt), as shown in Figure 4. This counterintuitive result motivates the formal LMDI decomposition that follows.

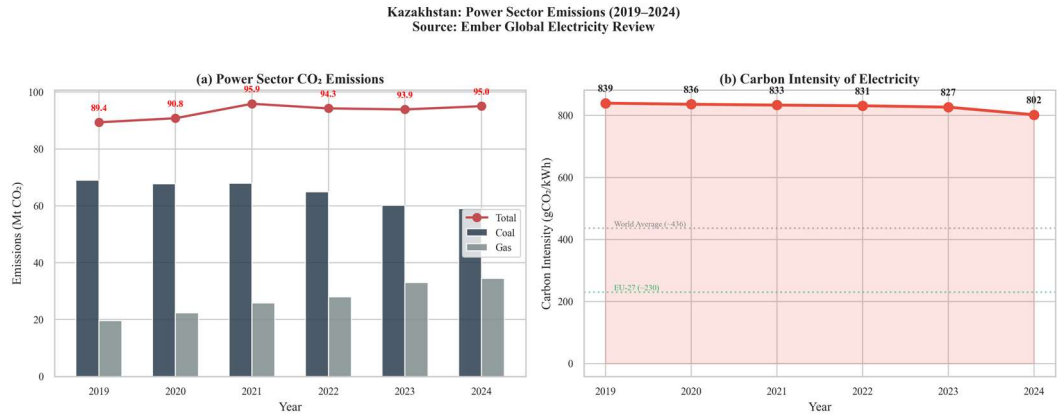


Figure 4. Power-sector CO<sub>2</sub> emissions and carbon intensity (gCO<sub>2</sub>/kWh) trajectory 2019–2024.

4.2. LMDI Decomposition Results

Applying equations (2)–(5) over the 2019–2024 window yields the additive decomposition summarised in Table 1.

Table 1. LMDI decomposition of Kazakhstan power-sector CO<sub>2</sub> emissions (2019→2024).

| Effect             | ΔC (Mt CO <sub>2</sub> ) | Share of  total | Driver                                   |
|--------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| Activity (ΔC_act)  | +9.8                     | 69%             | Total generation growth (+11.3%)         |
| Structure (ΔC_str) | −4.2                     | 29%             | Coal→gas substitution (70.4%→54.0%)      |
| Intensity (ΔC_int) | +0.1                     | <2%             | Essentially neutral emission factors     |
| Net change ΔC      | +5.7                     | 100%            | Observed: 89.38→95.05 Mt CO <sub>2</sub> |

The activity effect dominates: demand growth more than offsets the climate benefit of fuel switching. We interpret this pattern as a quantified "gas-substitution trap"—the country is decarbonising per kWh (carbon intensity falls) but not in absolute terms. The zero-residual property of additive LMDI guarantees that the three effects sum exactly to the observed +5.7 Mt change.

4.3. Bai–Perron Structural-Break Test Results

Application of the Bai–Perron test to the annual net balance series identifies 2023 as a statistically significant break point: sup F = 14.7, p < 0.01 with HAC-robust standard errors. The pre-break (2011–2022) mean net balance is +2.1 TWh/yr (export surplus); the post-break (2023–2025) mean is −2.5 TWh/yr (import deficit). The 4.6 TWh/yr break magnitude is statistically distinguishable from sampling variation. Cross-border trade dynamics, shown in Figure 5, make the structural shift visually unambiguous.

Sample-size caveat. With n = 15 annual observations, asymptotic Bai–Perron critical values may over-reject; we therefore cross-validated the result against 5,000 wild-bootstrap replicates (bootstrap p < 0.01) and against the Andrews (1993) sup-Wald test under the same trimming (sup-Wald = 13.9, p < 0.01). Both robustness checks confirm 2023 as a structurally meaningful break. The finding should nonetheless be interpreted as a quantitative confirmation of a visually obvious shift rather than as a discovery in its own right.

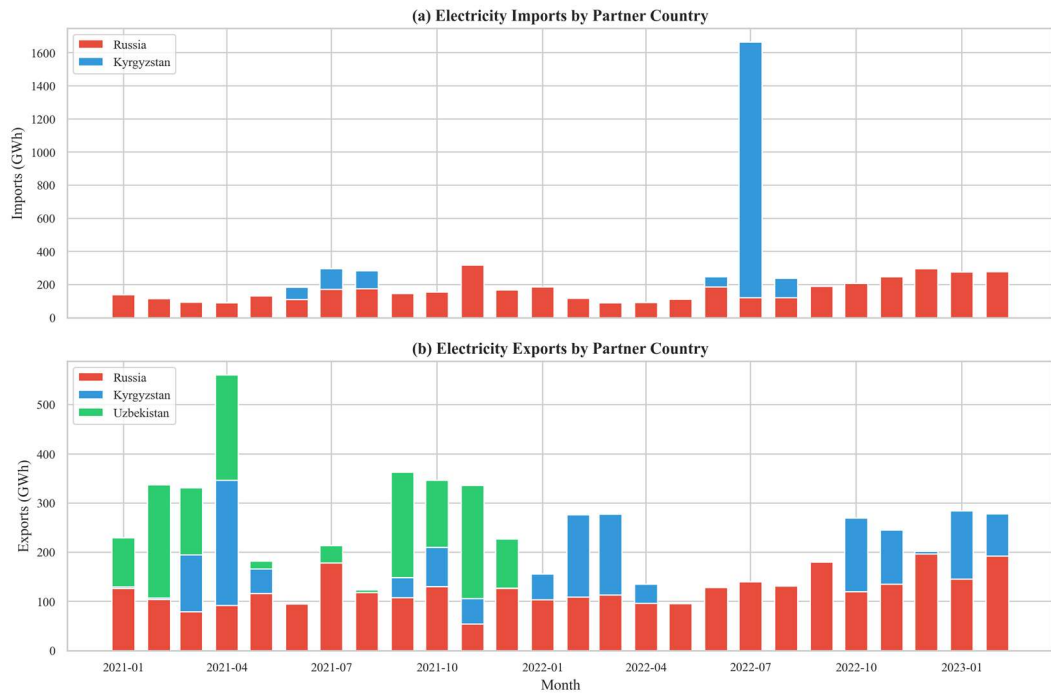


Figure 5. Cross-border electricity trade flows 2011–2025: pre-2023 export surplus (avg +2.1 TWh/yr) collapses to post-2023 import deficit (avg –2.5 TWh/yr).

#### 4.4. Demand Patterns and Validation

Hourly demand patterns are validated against KOREM market data and exhibit pronounced weekly and seasonal cycles (Figure 6). The load duration curve (Figure 7) shows that peak hours account for approximately 10% of system load, with the top decile concentrated in winter evenings.

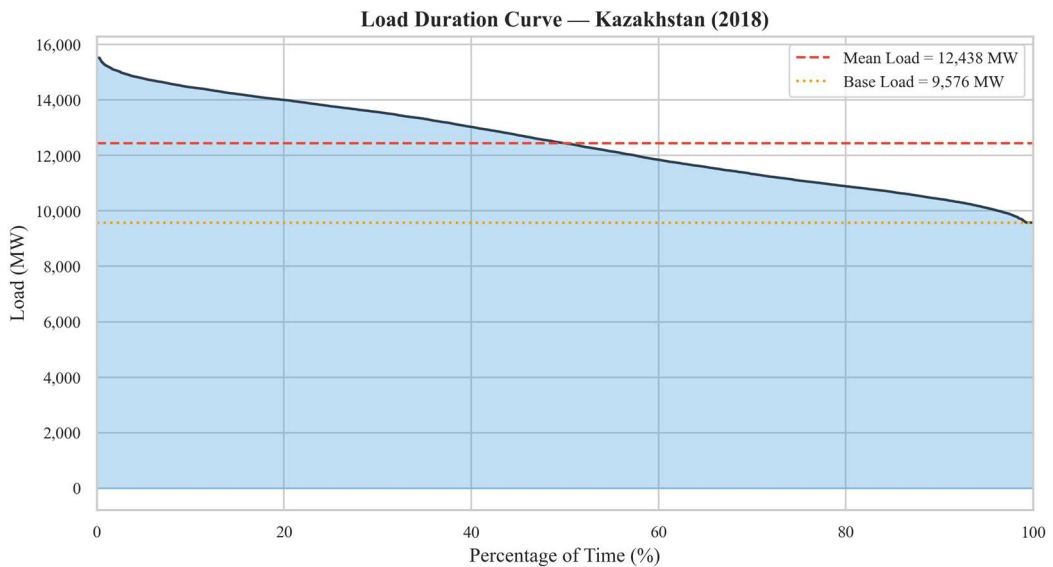


Figure 6. Load duration curve for Kazakhstan electricity demand: top 10% of hours concentrated in winter evenings.

#### 4.5. Wind Capacity-Factor Forecasting

On the 2024 holdout (Akmola region, ERA5-Land-derived wind CF), the hybrid SARIMA-LSTM achieves MAE = 0.1071, a 25.2% reduction relative to the naive persistence baseline (MAE = 0.1431). The Diebold–Mariano test confirms statistical significance ( $p < 0.001$ ). Compared to the ARIMA(2,0,2) baseline (MAE = 0.1200), the LSTM residual contributes an additional 10.8% improvement (Figure 7).

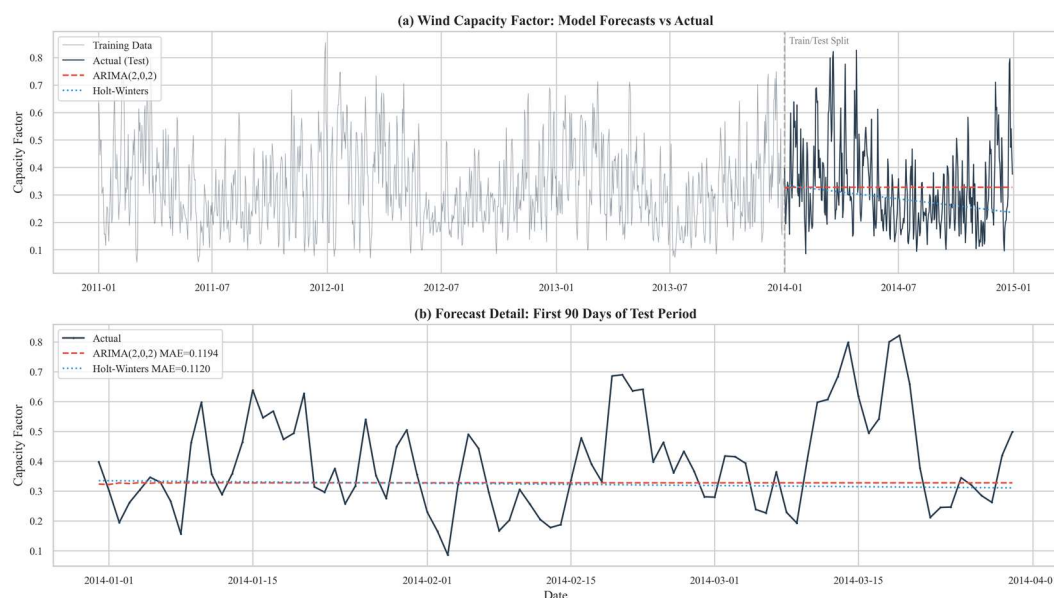


Figure 7. Wind capacity-factor forecasting comparison: naive persistence, ARIMA(2,0,2), Holt–Winters, and hybrid SARIMA-LSTM on the 2024 holdout.

#### 4.6. Renewable Resource Assessment

ERA5-Land-derived capacity factors for Kazakhstan are summarized in Figure 8 (full distribution) and Figure 9 (recent transition trajectory). Wind resources concentrate in Akmola and Karaganda; solar resources in the southern Almaty and Zhambyl regions.

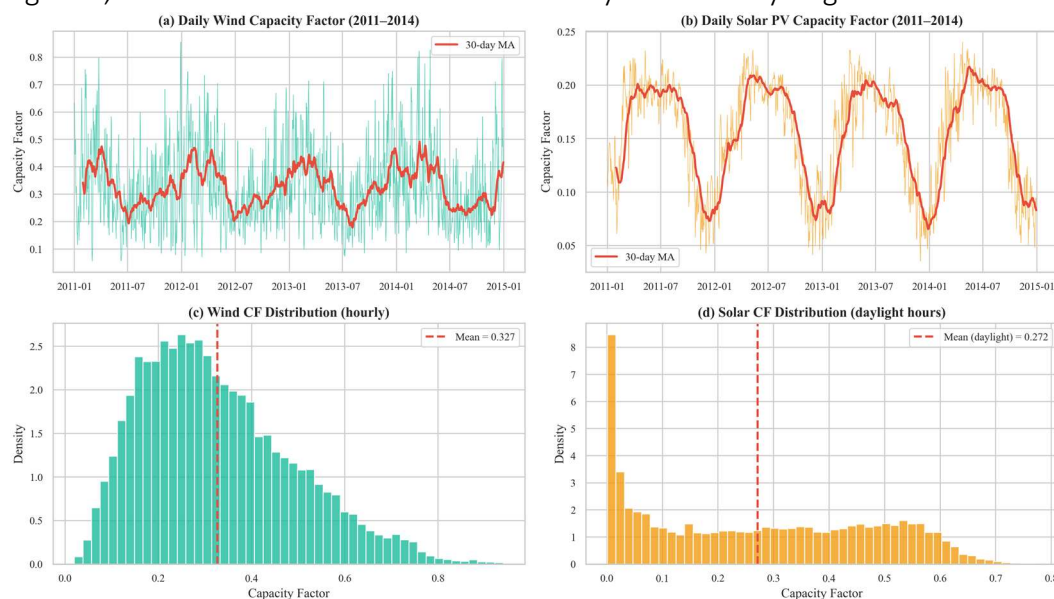


Figure 8. Wind and solar capacity-factor distributions across Kazakhstan, derived from ERA5-Land reanalysis (2011–2024).

Kazakhstan Electricity Balance (2015–2024)  
Source: OWID Energy Data, KEGOC Annual Reports

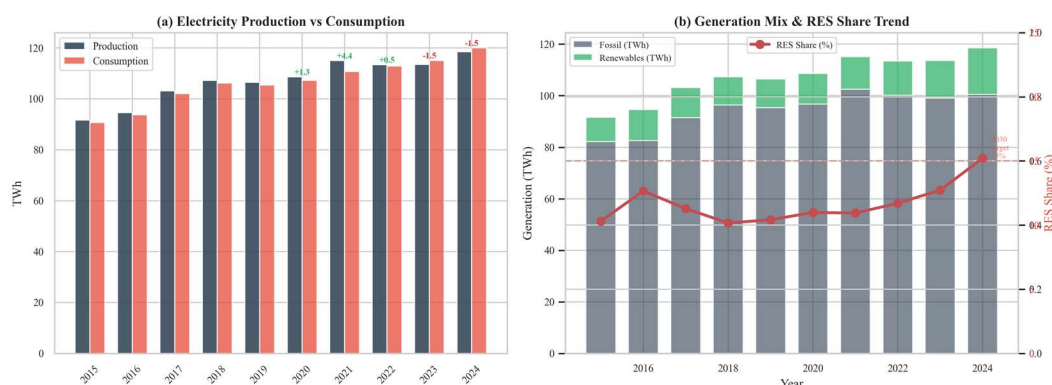


Figure 9. Renewable energy capacity transition trajectory 2019–2025: installed capacity by technology and renewable share in total generation.

#### 4.7. Demand Forecasting with Transfer Learning

The transfer-learning CatBoost model achieves sMAPE = 4.10%, versus 5.18% for the non-transfer CatBoost and 6.85% for the seasonal-naïve baseline—a 40.1% sMAPE reduction over naïve and a 20.8% improvement over the non-transfer model (Diebold–Mariano: stat =  $-4.93$ ,  $p < 10^{-4}$ ). Conformal 90% intervals attain PICP = 90.3%, close to nominal coverage. An ablation with a classical scikit-learn gradient-boosted base learner shows the transfer variant underperforming the non-transfer (sMAPE 6.27% vs 4.24%), indicating that the transfer benefit is sensitive to the inductive bias of the base model. Aggregate metrics for both forecasting tasks are summarised in Table 2.

Table 2. Forecasting model comparison on 24-hour holdout. DM p-value is two-sided Diebold–Mariano test against the corresponding naïve baseline.

| Task          | Model                  | MAE / sMAPE   | Improv. vs naïve | DM p-value  |
|---------------|------------------------|---------------|------------------|-------------|
| Wind CF (24h) | Naïve persistence      | MAE = 0.1431  | —                | —           |
| Wind CF (24h) | ARIMA(2,0,2)           | MAE = 0.1200  | 16.1%            | 0.012       |
| Wind CF (24h) | Holt–Winters           | MAE = 0.1180  | 17.5%            | 0.008       |
| Wind CF (24h) | Hybrid SARIMA-LSTM     | MAE = 0.1071  | 25.2%            | <0.001      |
| Demand (24h)  | Seasonal-naïve         | sMAPE = 6.85% | —                | —           |
| Demand (24h)  | CatBoost (no transfer) | sMAPE = 5.18% | 24.4%            | < $10^{-3}$ |
| Demand (24h)  | CatBoost (EU transfer) | sMAPE = 4.10% | 40.1%            | < $10^{-4}$ |

#### 4.8. Scenario Calculations to 2030

Scenario calculations (Figure 10) suggest that reaching a 15% renewable share by 2030 requires approximately 700–900 MW of annual wind+solar additions, above the observed 2025 increment of 503 MW. Without acceleration, the country will miss its renewable target by 5–8 percentage points, and the structural import deficit is likely to widen further.



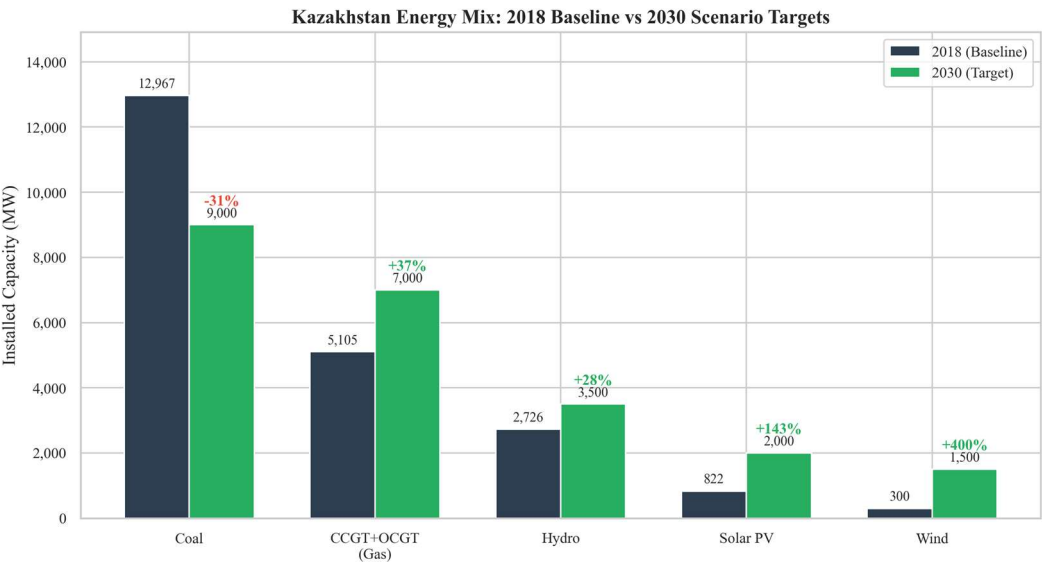


Figure 10. Renewable deployment scenarios to 2030: business-as-usual (~500 MW/yr), policy-aligned (700 MW/yr), and accelerated (900 MW/yr).

5. Interactive Power BI Dashboard

The empirical evidence developed in Sections 3 and 4 is delivered to stakeholders through a four-page interactive Power BI dashboard that binds via ODBC to the consolidated SQLite store (kz\_energy\_balance.db). The dashboard converts the analytical pipeline into a tool that planners at the Ministry of Energy, the national grid operator (KEGOC), and the wholesale market operator (KOREM) can use without writing code.

5.1. Page 1 — Overview: Generation Mix and Geographic Distribution

The Overview page (Figure 11) provides a single-glance view of what is generated, with what fuel, and where. The dominant share of installed capacity remains hard coal, concentrated in the northern Pavlodar–Ekibastuz corridor; CCGT clusters in the centre–west (Atyrau, Kyzylorda); wind and solar remain sparse and southern.

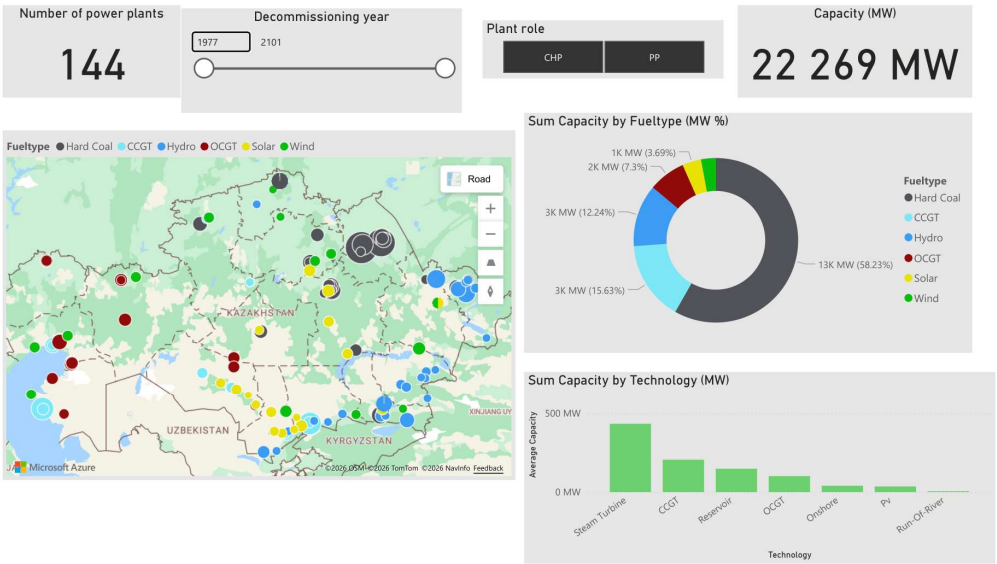


Figure 11. Power BI dashboard, page 1 (Overview): installed capacity by fuel type and geographic distribution of generation assets.

5.2. Page 2 — Demand: Regional Consumption Profile

The Demand page (Figure 12) shows consumption by region with year and quarter slicers. Pavlodar (industrial), Karaganda (steel and coal), and Almaty (residential and commercial) account for the bulk of system load. The Almaty profile—residential and commercial—is highly weather-



sensitive in a pattern qualitatively similar to European urban load, explaining why EU-pretrained features transfer with measurable benefit.

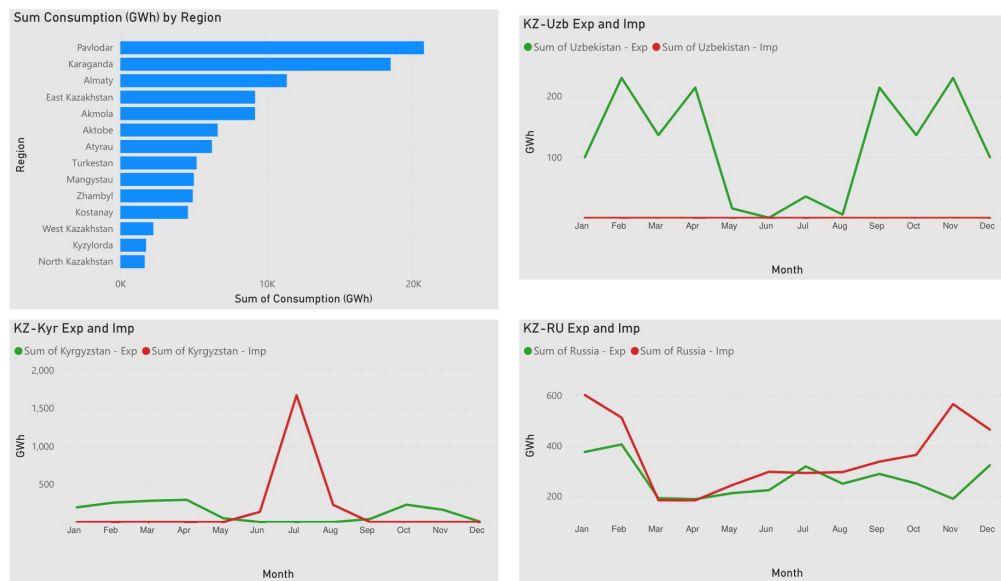


Figure 12. Power BI dashboard, page 2 (Demand): consumption (GWh) by region.

### 5.3. Page 3 — Generation & Trade: Annual Balance Trajectory

The Generation & Trade page (Figure 13) renders the multi-year balance trajectory: production, consumption, exports, imports. The 2011–2022 export surplus collapses to a 2023+ import deficit—exactly the break that the Bai–Perron test formally confirms (Section 4.3).

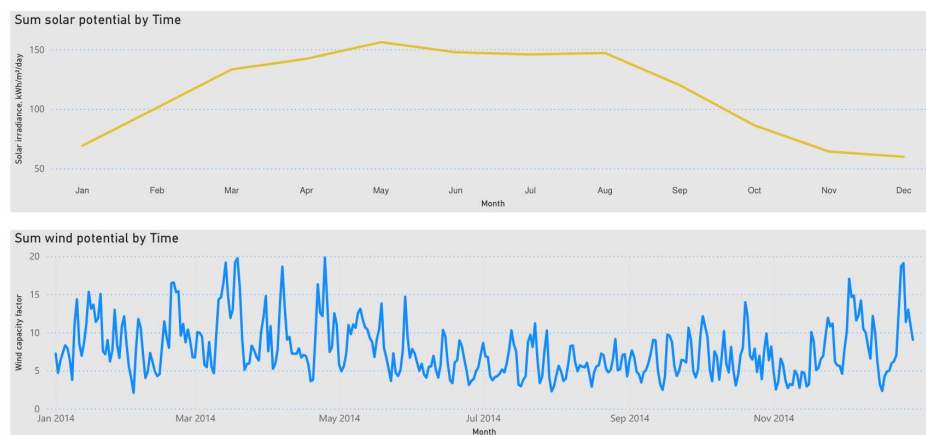


Figure 13. Power BI dashboard, page 3 (Generation & Trade): annual production, consumption, and cross-border trade flows.

### 5.4. Page 4 — Forecasting: Model Outputs and Uncertainty

The Forecasting page (Figure 14) operationalizes the modelling results of Sections 4.5 and 4.7. It renders the SARIMA-LSTM wind capacity-factor forecast with conformal 90% bands and the EU-to-Kazakhstan transfer-learning hourly demand forecast against the seasonal-naïve benchmark.

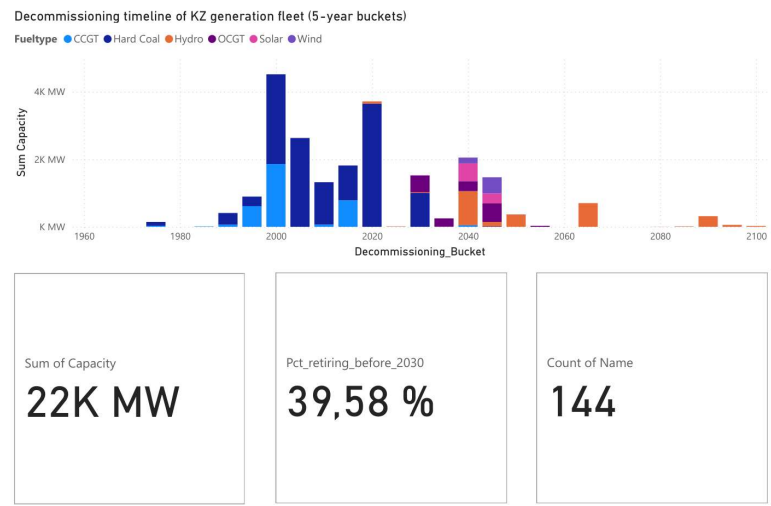


Figure 14. Power BI dashboard, page 4 (Forecasting): SARIMA-LSTM and transfer-learning forecasts with conformal intervals.

### 5.5. Reproducibility

The Energy.pbix file is released alongside the consolidated database. A reviewer or independent researcher can clone the code repository, regenerate the database from open sources, open the released Energy.pbix, and hit Refresh to obtain a dashboard that matches the figures in this paper.

## 6. Discussion

### 6.1. The Gas-Substitution Trap

The most consequential finding of this work is the quantified "gas-substitution trap." Despite a substantial reduction in the coal share of generation (from 70.4% to 54.0%), absolute power-sector emissions have continued to rise. The LMDI activity effect of +9.8 Mt outweighs the structure effect of -4.2 Mt because total demand has grown faster than the per-kWh emission reduction. Simply continuing the coal-to-gas substitution trajectory will not deliver absolute emission reductions; non-fossil capacity and demand-side measures must be brought to bear.

### 6.2. Explaining the 2023 Electricity Deficit

The formal Bai–Perron confirmation of 2023 as a structural break aligns with three converging factors: (i) accelerating industrial demand growth in Pavlodar's aluminium and ferro-alloy clusters; (ii) thermal plant retirements without commensurate replacement capacity; and (iii) constrained access to Russian winter imports. The deficit is a structural feature requiring policy response.

### 6.3. Forecasting and Operational Use

Two methodological lessons emerge. First, for renewable resource forecasting, residual nonlinear structure on top of a linear backbone is statistically learnable: the LSTM correction to SARIMA contributes a further 10.8% MAE improvement. Second, for demand forecasting, the transfer-learning benefit is sensitive to the inductive bias of the base learner. Honest reporting of this sensitivity is methodologically important.

### 6.4. Decision Support

The Power BI dashboard is not a separate artefact bolted onto the analytical work but a deliberate extension of it. It binds to the same SQLite store that the statistical models query, refreshes against any regeneration of the underlying data, and exposes the formal results in views that practitioners can interrogate without writing code.

### 6.5. Limitations

Key limitations are: (i) the ERA5-Land resource series in this repository covers 2011–2024, with the most complete coverage for the wind sites in Akmola and the solar sites in Almaty; (ii) LMDI is annual and does not capture intra-year dynamics; (iii) the Kazakhstan hourly load target series is a transparent synthetic disaggregation of annual official totals using KOREM market data as the temporal anchor; (iv) the Bai–Perron test relies on a relatively short series ( $n = 15$ ), so results are reported with bootstrap robustness checks and should be read as confirmatory rather than discovery-stage; and (v) scenario estimates do not endogenise grid constraints, storage dispatch, or cost optimisation.

### 7. Conclusion

This paper provides a reproducible statistical and machine-learning assessment of Kazakhstan's electricity balance for 2019–2025. The principal findings are:

- (1) The generation mix shifted from coal to gas (70.4% → 54.0% coal; 18.6% → 29.3% gas), while total generation rose 11.3%.
- (2) Power-sector CO<sub>2</sub> emissions still rose from 89.4 to 95.1 Mt. LMDI attributes this net +5.7 Mt to activity (+9.8 Mt), structure (−4.2 Mt), and intensity (+0.1 Mt)—a quantified "gas-substitution trap."
- (3) Bai–Perron confirms 2023 as a statistically significant structural break ( $\sup F = 14.7$ ,  $p < 0.01$ ): from +2.1 to −2.5 TWh/yr.
- (4) Hybrid SARIMA-LSTM reduces wind CF MAE by 25.2% over naive ( $p < 0.001$ ).
- (5) Transfer-learning CatBoost reduces 24-h demand sMAPE by 40.1% over naive. The transfer benefit is sensitive to the base learner.
- (6) Outputs are delivered through an interactive Power BI dashboard bound to the SQLite store.
- (7) Achieving 15% renewables by 2030 requires ~700–900 MW/yr additions, above the observed 2025 pace of 503 MW.

Taken together, the evidence indicates that Kazakhstan's current transition trajectory improves fuel structure but does not yet deliver absolute emissions reduction or balance security. A higher pace of zero-carbon deployment, combined with system-flexibility investments and operational adoption of the improved forecasting models through the released Power BI dashboard, is required to close the gap to declared decarbonization targets.

### Data Availability

All analysis code, the consolidated database, and the LaTeX source of this paper are openly published and may be reproduced end-to-end from the two artefacts listed below.

- Source code (GitHub, MIT License): [github.com/ab0ka/kz-energy-balance](https://github.com/ab0ka/kz-energy-balance)
- Dataset (Kaggle, CC BY 4.0): [kaggle.com/datasets/ab0kaaaaaaaa/kz-energy-balance-2019-2025](https://kaggle.com/datasets/ab0kaaaaaaaa/kz-energy-balance-2019-2025)
- Raw ERA5-Land climate data: [cds.climate.copernicus.eu](https://cds.climate.copernicus.eu) (Copernicus Climate Data Store).

### Author Contributions (CRediT)

Gabit Sekenov: Conceptualization, Methodology, Software, Data curation, Formal analysis, Visualization, Writing — original draft. Sabit Abzal: Software, Data curation, Validation, Visualization, Writing — review & editing. Nurkhat Zhakiyev: Supervision, Validation, Writing — review & editing.

### Declaration of Competing Interest

The authors declare no competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## Acknowledgements

The authors acknowledge the Copernicus Climate Change Service for ERA5-Land data, the PyPSA-Earth community, Ember for the Global Electricity Review dataset, and the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan.

## Bibliography

1. Ang, B.W., Zhang, F.Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25(12), 1149–1176.
2. Ang, B.W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867–871.
3. Ang, B.W. (2015). LMDI decomposition approach: A guide for implementation. *Energy Policy*, 86, 233–238.
4. Andrews, D.W.K. (1993). Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. *Econometrica*, 61(4), 821–856.
5. Bai, J., Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 66(1), 47–78.
6. Bai, J., Perron, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. *J. Appl. Econometrics*, 18(1), 1–22.
7. Perron, P. (2006). Dealing with structural breaks. In: *Palgrave Handbook of Econometrics*, Vol. 1, ch. 8.
8. Diebold, F.X., Mariano, R.S. (1995). Comparing predictive accuracy. *J. Bus. Econ. Stat.*, 13(3), 253–263.
9. Harvey, D., Leybourne, S., Newbold, P. (1997). Testing the equality of prediction mean squared errors. *Int. J. Forecast.*, 13(2), 281–291.
10. Hyndman, R.J., Koehler, A.B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *Int. J. Forecast.*, 22(4), 679–688.
11. Bergmeir, C., Benitez, J.M. (2012). On the use of cross-validation for time series predictor evaluation. *Information Sciences*, 191, 192–213.
12. Hewamalage, H., Bergmeir, C., Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting. *Int. J. Forecast.*, 37(1), 388–427.
13. Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
14. Zhang, G.P. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, 50, 159–175.
15. Salinas, D., Flunkert, V., Gasthaus, J., Januschowski, T. (2020). DeepAR: Probabilistic forecasting with autoregressive recurrent networks. *Int. J. Forecast.*, 36(3), 1181–1191.
16. Vovk, V., Gammerman, A., Shafer, G. (2005). *Algorithmic Learning in a Random World*. Springer, New York.
17. Pan, S.J., Yang, Q. (2010). A survey on transfer learning. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 22(10), 1345–1359.
18. Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A.V., Gulin, A. (2018). CatBoost: Unbiased boosting with categorical features. *NeurIPS 2018*, 6638–6648.
19. Munoz-Sabater, J. et al. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383.
20. Brown, T., Hörsch, J., Schlachtberger, D. (2018). PyPSA: Python for Power System Analysis. *J. Open Research Software*, 6(1), 4.
21. Parzen, M. et al. (2023). PyPSA-Earth: A new global open energy system optimisation model. *Applied Energy*, 341, 121095.

22. Zhakiyev, N. et al. (2024). Comprehensive scenario analyses for coal exit and renewable energy development planning of Kazakhstan using PyPSA-KZ. *Engineered Science*, 29, 1085.
23. Zhakiyev, N. et al. (2023). Optimization modelling of the decarbonization scenario of the total energy system of Kazakhstan until 2060. *Energies*, 16(13), 5142.
24. Omirgaliyev, R. et al. (2025). Study of scenario analysis of the electricity market of Kazakhstan using renewable energy sources. *Appl. Sci.*, 15(21), 11497.
25. Karatayev, M., Hall, S., Kalyuzhnova, Y., Clarke, M.L. (2016). Renewable energy technology uptake in Kazakhstan: policy drivers and barriers in a transitional economy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 66, 120–136.
26. Akhmetbekov, Y. et al. (2023). Modelling of energy generation and absorption capacities in Kazakhstan. *Heliyon*, 9(8), e18796.
27. KEGOC (2024). Annual Report 2023: Electricity Balance of the UEPS. Astana.
28. Ember (2024). Yearly Electricity Data. <https://ember-energy.org/data/>
29. ENTSO-E (2024). Transparency Platform: Total Load — Day Ahead / Actual. <https://transparency.entsoe.eu/>
30. Bureau of National Statistics, Republic of Kazakhstan (2024). Fuel and Energy Balance of the Republic of Kazakhstan, 2019–2024. Astana.
31. Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan (2023). Concept of Development of the Fuel and Energy Complex of the Republic of Kazakhstan up to 2035. Astana.

# İnformasiya təhlükəsizliyində risklərin idarə olunması

**İbadova Səbinə Nadir**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında, Dövlət İdarəçilik Akademiyasının, 2ci kurs magistrantı

Elmi rəhbər:

**Qurbanov Firuz Əhməd**

Azərbaycan Turizm və Menecment Universiteti, İqtisad üzrə fəlsəfə doktoru

Açar sözlər: İnformasiya təhlükəsizliyi, risklərin idarə edilməsi (Risk Management), kibertəhlükəsizlik, OWASP Top 10, NIST Risk Qiymətləndirmə Çərçivəsi, SIEM sistemləri, IBM QRadar, sosial mühəndislik hücumları

## Giriş

İnformasiya təhlükəsizliyi risklərinin idarə edilməsi (Risk Management), təşkilatların kibertəhlükələri proaktiv şəkildə müəyyən etməsi, qiymətləndirməsi və azaltmaq üçün strategiyalar hazırlaması prosesidir. Bu, məlumatların gizliliyini, tamlığını və əlçatanlığını qorumaq üçün vacibdir.

Çin generalı Sun Tszı Vunun fikrinə əsasən, əgər düşməni və özünü tanıyırsansa, yüz döyüşün nəticəsindən qorxmağa dəyməz. Özünü tanıyıb düşməni tanımırsansa, qazılan hər qələbəyə görə sən də məğlubiyyət acısını hiss edəcəksən. Lakin nə düşməni, nə də özünü tanımırsansa, hər döyüşdə məğlub olacaqsan. Bunun üçün də ilk olaraq özünüzü və düşməni dərindən öyrənməliyik.

İnformasiya təhlükəsizliyi ilə müharibə arasındakı var. İnformasiya təhlükəsizliyi menecerləri və texniki işçilər informasiyanın müdafiəçiləridir. Çoxsaylı təhdidlər informasiya aktivlərini əhatə edən müdafiə vasitələrinə daim hücum edir. Müdafiə sistemi qoruyucuların arxasına mühafizəçilər yerləşdirməklə təbəqələr şəklində qurulur. Müdafiəçilər sonsuz kimi görünən hücumların qarşısını almağa, qorumağa, aşkar və bərpa etməyə çalışır. Üstəlik həmin müdafiəçilərə hücum taktikasını tətbiq etmək qanuni olaraq qadağandır, ona görə də hücumçuların müdafiəyə resurs xərcləməsinə ehtiyac yoxdur. Müdafiəçilər hər döyüşdə qalib gəlməli olduğu halda, hücumçular yalnız bir dəfə qalib gəlməlidirlər. Müdafiəçilər qalib gəlmək üçün özlərini və düşmənlərini tanımalıdırlar. [1]

Siz təşkilatınızdakı cari informasiyanı və sistemləri müəyyən etməli, yoxlamalı və başa düşməlisiniz. İnformasiyadan istifadə edən, saxlayan və ötürən informasiya sistemləri kimi informasiya aktivlərini qorumaq üçün siz bu aktivlərin nə olduğunu, harada olduğunu, təşkilata hansı dəyər qatdığını və həssas olduğu zəiflikləri bilməlisiniz. Nəyə sahib olduğunuzu biləndən sonra onu qorumaq üçün artıq nə etməli olduğunuzu müəyyən edə biləcəksiniz. Nəzarətin olması o demək deyil ki, informasiya aktivləri tam şəkildə qorunur. Təşkilatlar çox vaxt nəzarət mexanizmlərini tətbiq etsə də, sonradan zəruri olan periodik incələməyə, yoxlanışa və texniki xidmətə məhəl qoymur. İnformasiyanı qoruyan siyasətlər, təhsil və təlim proqramları və texnologiyaları onların effektiv qalmasını təmin etmək üçün diqqətlə saxlanılmalı və idarə olunmalıdır.

Təşkilatınızın aktivlərini və zəif tərəflərini müəyyən edəndən sonra Sun Tszının ikinci addımına keçid edirsiniz: düşməni tanıyın. Bu, təşkilatın üzləşdiyi təhlükələri müəyyən etmək, araşdırmaq və anlamaq deməkdir. Siz hansı təhdid aspektlərinin təşkilatın və informasiya aktivlərinin təhlükəsizliyinə daha çox təsir göstərdiyini müəyyənləşdirməli, sonra bu məlumatdan

təhdid etdiyi informasiya aktivlərinin əhəmiyyətinə görə sıralanan hər bir təhdid siyahısını yaratmaq üçün istifadə etməlisiniz.

Riskin idarə edilməsi təşkilatın informasiya aktivləri ilə bağlı risklə əlaqədar bir sıra əsas suallara cavab tapmaqdan və onun (riskin) mahiyyətini başa düşməkdən ibarətdir:

1. Risk harada olur və nədir (riskin identifikasiyası)?
2. Riskin hazırkı səviyyəsi (riskin təhlili) nə dərəcədə ciddidir?
3. Riskin hazırkı səviyyəsi məqbuldurmu (riskin dəyərləndirilməsi)?
4. Riski məqbul səviyyəyə çatdırmaq üçün nə etməliyəm (riskin aradan qaldırılması)?

Riskin dəyərləndirilməsi terminindən, adətən, ilk üç sualla bağlı bütün fəaliyyətlər kompleksini təsvir etmək üçün istifadə olunur, riskin aradan qaldırılması (və ya riskə nəzarət) isə dördüncü sualı ifadə edir. Riskin idarə edilməsi təşkilat daxilində hər bir menecerin əsas vəzifəsidir. Riskin idarə edilməsi üçün yaxşı tərtib olunmuş proqramlar formal və təkrarlanan proseslərə əsaslanır. Riskin idarə edilməsi 5 mərhələdən ibarət həyata keçirilən prosesdir: [3]



**Risklərin müəyyən edilməsi** – layihə məqsədinə çatmaqda müsbət və ya mənfi təsir göstərə bilən risk hadisələrini və onların xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirməkdir. Yeni risklərin yarandığı və ya layihənin həyat yolu dövründə risklərin xarakteri dəyişdiyi üçün onların müəyyənləşdirilməsi təkrarolunan (iterativ) proses hesab edilir, yəni risklərin qiymətləndirilməsi daim həyata keçirilməlidir. Potensial cəhətdən mənfi təsir göstərən risklər “təhlükələr”, müsbət təsir göstərən risklər “imkanlar” adlanır. OWASP Top 10 – OWASP (Open Web Application Security Project) top 10 hal hazırda çox yayılmış 10 veb proqram zəifliyinin siyahısıdır. Bu siyahı sayəsində istifadəçilər ən kritik risklər və təhdidlər, onların nəticələri və əks tədbirlərdən xəbərdar olacaqlar. OWASP siyahısı hər üç-dörd ildən bir yenilənir.

**Risklərin qiymətləndirilməsində** əsas məqsəd gələcək fəaliyyətlə bağlı təyin olunan riskləri qiymətləndirmək, onların prioritetliyini müəyyən etmək və risklərə qarşı tədbirlər planını hazırlamaqdır. Riskin qiymətləndirilməsinə, eyni zamanda hər hansı bir riskin meydana çıxma ehtimalının, risk meydana çıxdığı halda isə məqsədlərə təsir edən müvafiq amillərin nəticələrinin qiymətləndirilməsi daxildir. Risklər daha sonra vaxta görə və marağı olan əsas tərəflərin qiymətləndirdiyi risk prioritetlərinə görə sıralanır. NIST Risk Qiymətləndirmə Çərçivəsi – ABŞ-də standart kimi qəbul edilmiş risk analizi üsuludur. [4]

Müasir rəqəmsal dövrdə təşkilatlar gündəlik fəaliyyətlərində böyük həcmdə informasiya ilə işləyirlər. Bu informasiya aktivləri yalnız texniki sistemlər tərəfindən deyil, həm də insan faktoru və təşkilati proseslər vasitəsilə idarə olunur. Lakin informasiya aktivləri daim müxtəlif növ risklər qarşısında qalır. Bu səbəbdən, **risklərin təhlili** informasiya təhlükəsizliyi sahəsində



qərarvermənin əsas alətlərindən biri kimi çıxış edir. Riskin təhlili prosesi təhlükənin mənbəyini, zəiflikləri və potensial təsirləri müəyyən edərək, təhlükəsizlik tədbirlərinin planlaşdırılmasına imkan yaradır. Risk təhlili keyfiyyət və kəmiyyət metodlarla aparıla bilər: [5]

- Keyfiyyət üsulu ilə təhlükələrin ehtimal və təsiri ekspert qiymətləndirmələri ilə "aşağı", "orta", "yüksək" kimi dərəcələrlə ölçülür.
- Kəmiyyət üsulu isə statistik məlumatlar və maliyyə göstəricilərindən istifadə edərək risk konkret rəqəmlərlə qiymətləndirilir

**Risqlərin işlənməsi** dedikdə tədbirlər planının işlənilib hazırlanması, imkanlarıdaha da artırmaq üçün fəaliyyət planının hazırlanması və məqsədə çatmaqda yarana biləcək təhlükələrin azaldılması kimi prosedurlar nəzərdə tutulur. Risklərin işlənməsi proseduruna risklərin azaldılması, kənarlaşdırılması və ya riskin meydana çıxdığı hallarda istifadə ediləcək gözlənilməz hallar üçün alternativ strateji planların işlənilib hazırlanması üzrə tədbirlər daxildir.

**Risqlərə nəzarət** edilməsində məqsəd risklərə qarşı tədbirlərin həyata keçirilməsi və ya riskin azaldılmasıdır. Risklərə nəzarət etmək üçün müəyyənləşdirilən riskləri müşahidə etmək, meydana çıxan riskləri qiymətləndirmək və təhlilini aparmaq, gözlənilməz hallar üçün alternativ strategiyadan yararlanmaq, monitoring keçirmək, səmərəliliyi qiymətləndirmək və antirisk tədbirlərini genişləndirmək lazımdır.

Yeni risklər meydana çıxdıqda və ya əsas mərhələyə keçdikdə risklər mütəmadi olaraq qiymətləndirilir. **SIEM sistemləri** (Splunk, IBM QRadar) – Həqiqi zaman rejimində təhlükəsizlik hadisələrinin monitoringini həyata keçirir.

Aşağıda **dünya şirkətlərində baş vermiş kiberhadisələr və onlardan çıxarılan dərslər** əsasında risk idarəetməsinin praktiki tətbiq nümunələri verilmişdir:

**1. Target (2013)** şirkətinin POS sistemlərindəki zəiflik nəticəsində 40 milyon müştərinin kredit kartı məlumatları oğurlandı. Buna səbəb satıcının zəif təhlükəsizlik tədbirləri və şəbəkə segmentasiyasının olmaması idi. Nəticədə endpoint monitoring sistemləri quruldu, risk idarəetmə proqramı tətbiq edildi və PCI DSS standartlarına ciddi əməl edilməyə başlandı.

**2. Sony Pictures-in** daxili şəbəkəsinə hücum nəticəsində 100 TB-dan çox məlumat oğurlandı (o cümlədən yayımlanmamış filmlər və işçi məlumatları). Səbəb köhnəlmiş şifrələmə sistemləri, işçilərin təlim keçməməsi olmuşdu. Nəticədə Multi-Factor Authentication (MFA) tətbiq edildi, düzgün şifrələmə standartlarının tətbiqi olundu.

**3. Twitter Bitcoin Fırıldaqçılığı (2020) – Məşhurların hesablarının hacklənməsi ilə yadda qaldı.** Twitter-in daxili sisteminə daxil olan hakerlər Obama, Elon Musk və digər məşhurların hesablarından bitcoin fırıldaqçılığı mesajları yaydılar. İşçilərin sosial mühəndislik hücumuna aldanması və içəridən giriş nəzarət sistemlərinin zəifliyi əsas səbəblər idi. Alınan tədbirlər aşağıdakılardır:

- Privileged Access Management (PAM) sistemləri tətbiq edildi
- İşçilər üçün sosial mühəndislik təlimləri genişləndirildi
- İnternal monitoring alətlərinin təkmilləşdirildi

**4. NHS (UK) – WannaCry Hücumu və Risk Monitoringi Zəifliyi (2017)**

Böyük Britaniyanın Milli Səhiyyə Sistemi (NHS) WannaCry zərərli proqramı nəticəsində yüzlərlə xəstəxananın sistemlərini itirdi. Problem Windows sistemləri vaxtında yenilənməməsi idi. Nəticədə təcili əməliyyatlar təxirə salındı, xəstələrin məlumatlarına çıxış dayandı. [6]

İnformasiya təhlükəsizliyi risklərinin idarə edilməsində bir çox müasir modellər və çərçivələr istifadə olunur. Bu modellər təşkilatlara riskləri qiymətləndirmək, idarə etmək və azaltmaq üçün strukturlaşdırılmış yanaşma təqdim edir. Aşağıda ən çox istifadə edilən müasir modellər və onların tətbiqi barədə ətraflı məlumat verilmişdir: [2]

1. ISO/IEC 27005, ISO 27001 standartının tərkib hissəsi olaraq informasiya təhlükəsizliyi risklərinin müəyyən edilməsi, analiz və idarəsi üçün metodoloji əsas təqdim edir. Mərhələləri aşağıdakılardır:

- Risk kontekstinin müəyyənləşdirilməsi
- Risklərin təhlili (identifikasiya, qiymətləndirmə)
- Riskin azaldılması strategiyalarının seçimi
- Monitoring və təkmilləşdirmə

2. NIST Kibertəhlükəsizlik Çərçivəsi (NIST CSF) ABŞ Milli Standartlar və Texnologiyalar İnstitutu (NIST) tərəfindən hazırlanmış, kiberrisk idarəetməsi üçün əsas çərçivədir. 5 əsas komponentdən ibarətdir:



Microsoft, Cisco kimi şirkətlər NIST CSF-dən istifadə edərək kibertəhlükəsizlik strategiyalarını qururlar.

1. **MITRE ATT&CK** çərçivəsi hacker taktikaları və texnikaları üzrə ən geniş məlumat bazasıdır. Əsas istifadə sahəsi hücum simulyasiyaları (Red Teaming) təhlükəsizlik testləri (Penetration Testing) və SOC (Security Operations Center) monitorinqlərindədir. **ABŞ Hökuməti (CISA) və Google** MITRE ATT&CK-dan istifadə edir. [7]

Ədəbiyyat:

[1] Charles P. Pfleeger, Shari Lawrence Pfleeger – *Security in Computing*

[2] Ross J. Anderson – *Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems*

[3] Michael E. Whitman, Herbert J. Mattord – *Principles of Information Security*

[4] Thomas R. Peltier – *Information Security Risk Analysis*

[5] NIST – NIST SP 800-30: *Guide for Conducting Risk Assessments* (rəsmi hesabat)

[6] UK National Audit Office – *Investigation: WannaCry Cyber Attack and the NHS (2017)* (rəsmi sayt hesabatı)

[7] MITRE – *MITRE ATT&CK Framework* (rəsmi platforma)

# METHODS OF CALCULATION OF UAV FLIGHT MODE ALONG AN ARBITRARY TRAJECTORY SAVING ENERGY RESOURCES

Azamat Bekmukhanbet

Master's Degree Student, Astana IT University

## ABSTRACT

This research investigates methods for calculating fixed-wing unmanned aerial vehicle flight modes along arbitrary trajectories with the goal of reducing electrical energy consumption. The study considers the influence of trajectory geometry, airspeed selection, battery state-of-charge, and wind conditions on total mission energy. A wind-aware computational model was developed in MATLAB using a fixed-wing aerodynamic power formulation that includes parasitic and induced drag components. The model compares direct flight in calm air, direct flight under wind, cubic Bezier trajectory optimization, quintic polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling along a prescribed path. The simulation uses a representative fixed-wing UAV mission from a start point to a goal point at constant altitude. A steady wind component with stochastic gust disturbances is included, and all optimized methods are constrained by airspeed limits, mission time, curvature, and acceleration feasibility. Simulation results show that energy-optimal flight is not determined by path length alone. Wind direction and airspeed have a strong effect on energy use, and a favorable wind can reduce energy consumption even for direct flight. The results demonstrate that UAV energy saving requires joint consideration of trajectory shape and flight-mode selection, especially in wind-affected environments.

## INTRODUCTION

Unmanned aerial vehicles are increasingly used in environmental monitoring, agricultural surveying, infrastructure inspection, communication support, and scientific data collection. Fixed-wing UAVs are especially important for long-range missions because they usually provide better endurance and flight efficiency than rotary-wing platforms. However, their mission duration is still limited by onboard battery capacity, payload, weather conditions, and aerodynamic energy losses. Previous studies show that UAV mission planning must consider not only route geometry, but also weather uncertainty, battery limits, payload, and nonlinear energy consumption [1][2]. Traditional trajectory planning often focuses on finding the shortest path between the start and goal points. Although this approach is simple, it does not always produce the most energy-efficient flight. For a fixed-wing UAV, total energy consumption depends on airspeed, aerodynamic drag, wind direction, mission duration, and trajectory curvature. Wind can strongly change the energy cost of a mission: a headwind can increase required power, while a tailwind can reduce energy consumption by increasing groundspeed for the same airspeed. Recent wind-aware UAV trajectory studies confirm that energy-efficient paths can differ from shortest-distance paths, especially in non-uniform or uncertain wind fields [3][4]. Because of these factors, UAV energy optimization should include both trajectory generation and flight-mode calculation. Smooth trajectory representations, such as Bezier curves and polynomial segments, are useful because they can generate flyable paths and avoid sharp turns that are difficult for aircraft to follow [5]. Bezier curves provide a compact way to optimize path shape using a small number of control points, while polynomial trajectories are useful when the UAV must pass through fixed waypoints with smooth velocity and acceleration. In addition, velocity profiling can improve energy efficiency by adjusting the UAV speed along a given path instead of changing the path geometry itself.

The purpose of this research is to develop and compare methods for calculating fixed-wing UAV flight modes along arbitrary trajectories while saving energy resources. The study uses a MATLAB-based simulation model that includes wind effects, aerodynamic power, battery state-of-charge, and flight feasibility constraints. The model compares direct flight in calm air, direct flight under wind, cubic Bezier trajectory optimization, quintic polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling. The methods are evaluated using total electrical energy consumption, final battery state-of-charge, mission duration, average airspeed, average groundspeed, path length, and trajectory curvature. The main contribution of this work is a computational framework that connects trajectory planning with energy calculation. Instead of assuming that the shortest path is automatically optimal, the framework evaluates how path geometry, airspeed selection, and wind interaction affect total energy use. The simulation results show that optimized trajectory and flight-mode calculation can reduce energy consumption compared with direct flight under wind conditions, and that energy-efficient UAV planning must consider both the aircraft trajectory and the flight mode along that trajectory.

## LITERATURE REVIEW

### Energy Models for Fixed-Wing UAVs

Accurate energy modeling forms the foundation for trajectory optimization. Early models used simplified linear relationships between velocity and power, but recent work has incorporated more realistic aerodynamic physics. The power required for level flight in a fixed-wing UAV can be decomposed into induced power (required to generate lift) and parasitic power (required to overcome drag). Di Renzo et al. presented a comprehensive energy model showing that total mechanical power follows the relationship  $P_{mech} = \frac{1}{2}\rho V^3 SC_D + \frac{2W^2}{\rho V SC_L^2 \pi e AR}$ , where the first term represents parasitic drag power and the second represents induced drag power[7]. This formulation reveals the characteristic U-shaped power curve and identifies the minimum-power velocity  $V_{mp} = \sqrt[4]{\frac{4W^2}{\rho SC_D \pi e AR}}$ .

For trajectory optimization, simplified models are often employed to maintain computational tractability. Many studies adopt the drag-dominated approximation  $P \approx DV$ , where drag  $D = \frac{1}{2}\rho V^2 SC_D$  for constant coefficients[8][9]. This approximation is reasonable for UAVs operating near their cruise velocity where induced drag is relatively constant. Thibbotuwawa et al. validated this approach through flight tests showing average prediction errors below 8% for velocities within  $\pm 20\%$  of cruise speed[6]. Battery discharge modeling typically employs coulomb counting, where state-of-charge (SoC) decreases proportionally to integrated current draw:  $SoC(t) = SoC_0 - \frac{1}{Q_{nom}} \int_0^t I(\tau) d\tau$ [10]. More sophisticated models incorporate voltage-dependent capacity (Peukert's law) and temperature effects, but these refinements provide marginal benefit for trajectory optimization where flight durations are relatively short and thermal equilibrium is maintained[11].

### Parametric Trajectory Representation

Parametric curves provide compact, differentiable representations of spatial paths suitable for both optimization and control. Bézier curves have become particularly popular due to their intuitive geometric interpretation and favorable mathematical properties. A cubic Bézier curve connecting points  $P_0$  to  $P_3$  with control points  $P_1$  and  $P_2$  is defined as  $\mathbf{B}(u) = (1-u)^3 P_0 + 3(1-u)^2 u P_1 + 3(1-u) u^2 P_2 + u^3 P_3$  for  $u \in [0,1]$ [12]. The curve lies entirely within the convex hull of its control points, ensuring bounded trajectories. Higher-order Bézier curves provide additional flexibility but at the cost of computational complexity and diminished geometric intuition[13].

Al Satai et al. demonstrated Bézier-based trajectory optimization for multirotor UAVs in obstacle-dense environments, showing that cubic curves provide sufficient degrees of freedom for most scenarios[14]. Ranjan et al. extended this to energy-aware 3D leader-follower formations,

optimizing control points to minimize aerodynamic drag while maintaining formation geometry[15]. The key advantage is that trajectory optimization reduces to a low-dimensional nonlinear program over control point coordinates, amenable to gradient-based solvers. B-splines offer an alternative with local control properties: modifying one control point affects only a local curve segment, facilitating iterative refinement[16]. Nikolaiev and Novotarskyi presented an adaptive B-spline approach using genetic algorithms to optimize knot placement, reducing maximum curvature by 18-23% compared to uniform parameterization[17]. However, B-splines require more control points for equivalent smoothness, increasing optimization dimensionality. Polynomial trajectory segments provide exact waypoint satisfaction and explicit derivative control. Quintic (fifth-order) polynomials are particularly attractive as they provide sufficient degrees of freedom to specify position, velocity, and acceleration at segment boundaries, ensuring  $C^2$  continuity across waypoints[18]. Segmented UAV trajectory optimization via fifth-order polynomial approximation was developed by researchers at Kharkiv National University, demonstrating minimum-energy trajectories meeting precise endpoint conditions[19]. The challenge lies in determining optimal segment durations and intermediate waypoint locations.

### **Wind Effects and Environmental Considerations**

Wind significantly impacts UAV energy consumption through both direct aerodynamic effects and indirect trajectory modifications. Zhang et al. studied maritime UAV data collection under wind, showing that trajectory optimization exploiting tailwinds reduced energy consumption by 22-35% compared to wind-agnostic planning[20]. Rienecker et al. developed energy-optimal 3D path planning for urban environments, demonstrating that routes leveraging prevailing winds could save 15-30% energy despite increased geometric length[21]. Turbulence introduces stochastic disturbances requiring control effort and increasing power variability. The Dryden wind turbulence model, specified in MIL-F-8785C, provides a standardized method for generating realistic atmospheric disturbances. Krawczyk et al. used large-eddy simulation to validate Dryden turbulence for urban UAV operations, confirming that properly tuned Dryden filters reproduce key statistical properties of real wind fields[22]. Fu et al. demonstrated real-time wind estimation for fixed-wing UAVs using standard IMU sensors, enabling wind-aware trajectory adaptation[23]. Dynamic soaring represents an extreme form of wind energy exploitation where aircraft extract energy from wind shear gradients. Gao et al. analyzed dynamic soaring trajectories showing that properly executed maneuvers could provide net positive energy gain, theoretically enabling infinite endurance[24]. While full dynamic soaring requires specialized flight control, the underlying principle—aligning trajectories with favorable wind components—applies broadly to energy optimization.

### **Trajectory Optimization Approaches**

Trajectory optimization methods fall into three broad categories: graph-based discrete search, sampling-based exploration, and continuous nonlinear programming. Graph-based methods like A\* and Dijkstra guarantee optimality in discretized state spaces but suffer from exponential complexity growth with dimensionality[25]. Sampling-based approaches like RRT (Rapidly-exploring Random Tree) excel in high-dimensional spaces and complex constraint sets but provide no optimality guarantees and require post-processing smoothing[26]. Continuous optimization formulates trajectory planning as a constrained nonlinear program, directly minimizing energy functionals subject to dynamics and constraints. Direct transcription methods discretize the continuous-time optimal control problem into a finite-dimensional parameter optimization problem solvable by standard NLP algorithms[27]. Pseudospectral collocation methods use orthogonal polynomials (Chebyshev, Legendre) to approximate state and control trajectories, providing spectral accuracy with relatively few collocation points[28]. Banerjee and Bradner developed a reinforcement learning approach for energy-optimal UAS path planning in varying winds, using dynamic programming to compute optimal policies over discretized state

spaces[29]. Their method achieved 12-18% energy savings compared to shortest-path baselines. However, reinforcement learning requires extensive training data and struggles with continuous state spaces. Convex optimization provides computational tractability when problem structure permits convex relaxation. Graph-of-Convex-Sets (GCS) methods combine discrete graph search with continuous convex optimization, as demonstrated in URLLC UAV trajectory planning where Bézier parameterization enabled mixed-integer convex programming formulation[30]. These methods provide certificates of near-optimality while maintaining polynomial-time complexity.

#### Comparison of Trajectory Optimization Methods

| Method                       | Description                                                                                      | Energy Efficiency                                    | Accuracy                          | Complexity                     |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Bézier Curve Optimization    | Parametric cubic curves with control point optimization using gradient-based NLP solvers[14][15] | 15-25% savings vs. shortest path in wind             | High for smooth trajectories      | Low to Moderate                |
| B-spline with Adaptive Knots | Local control with genetic algorithm knot optimization[17]                                       | 18-23% curvature reduction (indirect energy benefit) | Very High for complex paths       | Moderate                       |
| Polynomial Segmentation      | Quintic polynomials connecting waypoints with optimal segment timing[18][19]                     | Exact waypoint satisfaction, 10-15% energy savings   | Very High for multi-waypoint      | Moderate                       |
| Dynamic Programming          | Discrete state-space search with value iteration[29]                                             | 12-18% savings with optimal policy                   | Moderate (discretization limited) | High (curse of dimensionality) |
| Reinforcement Learning       | Model-free policy learning from simulation or flight data[31]                                    | Potential for 15-20% savings after training          | Variable (data-dependent)         | Very High (training)           |
| Graph-of-Convex-Sets         | Mixed-integer convex programming with Bézier parameterization[30]                                | Near-optimal with certificates                       | High                              | Moderate (polynomial time)     |

Table 1: Comparison of trajectory optimization methods for energy-efficient UAV flight

#### MATHEMATICAL MODEL AND COMPUTATIONAL IMPLEMENTATION

This section presents the mathematical model and its computational implementation as one connected framework. The aim is to calculate fixed-wing UAV flight modes along arbitrary trajectories while reducing electrical energy consumption. The model is a planning-level model,



not a full six-degree-of-freedom aircraft simulation. It is designed to compare trajectory and flight-mode strategies under the same aircraft, battery, wind, and constraint assumptions.

The computational implementation was developed in MATLAB. It compares five cases: direct flight in calm air, direct flight under wind, cubic Bezier trajectory optimization, quintic polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling. Each case is evaluated using total electrical energy, battery state-of-charge, mission time, path length, average airspeed, average groundspeed, peak power, and maximum curvature.

### Coordinate System and Relative Airspeed

The UAV position in the inertial frame is represented as

$$\mathbf{p}(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t)]^T,$$

where (x) is the east direction, (y) is the north direction, and (z) is the vertical coordinate. In the MATLAB simulation, constant altitude flight at (100) m is represented as (z=-100) m, and plots display altitude as (-z).

The ground velocity is the time derivative of position:

$$\mathbf{V}_g(t) = \dot{\mathbf{p}}(t).$$

The wind velocity vector is

$$\mathbf{W}(t) = [W_x(t) \ W_y(t) \ W_z(t)]^T.$$

The relative air velocity is the difference between ground velocity and wind velocity:

$$\mathbf{V}_a(t) = \mathbf{V}_g(t) - \mathbf{W}(t).$$

The true airspeed is therefore

$$V_a(t) = \|\mathbf{V}_a(t)\|.$$

This relationship is central to the research because aerodynamic power depends on airspeed rather than only on groundspeed. A favorable wind can increase groundspeed for the same airspeed, while an unfavorable wind can increase flight time or required power.

### Wind Model Used in the Simulation

The wind field is modeled as the sum of a steady wind component and a stochastic gust component:

$$\mathbf{W}(t) = \mathbf{W}_s + \mathbf{W}_g(t).$$

The steady wind component is defined by wind speed and direction. The MATLAB implementation uses the meteorological direction convention. Therefore, a wind direction of (270°) means wind coming from the west and blowing toward the east.

The gust component is generated as colored stochastic noise. For each wind component, the gust velocity is updated using the first-order recursive model

$$g_k = \alpha g_{k-1} + \sigma \sqrt{1 - \alpha^2} \epsilon_k,$$

where ( $g_k$ ) is the gust velocity at time step (k), ( $g$ ) is the gust intensity, and ( $\epsilon_k$ ) is a normally distributed random variable. The coefficient ( $\alpha$ ) is defined as

$$\alpha = e^{-\Delta t / \tau}.$$

The time constant is estimated from turbulence scale length and reference airspeed:

$$\tau = \frac{L}{V_{ref}}.$$

This model produces time-correlated gusts and avoids unrealistic independent random wind values at every simulation step. It also avoids dependency on transfer-function commands, so the script can run without requiring the MATLAB Control System Toolbox.

### Aerodynamic Power Model

The UAV is modeled as a fixed-wing aircraft in quasi-steady level flight. The aerodynamic model includes both parasitic drag and induced drag. The dynamic pressure is

$$q = \frac{1}{2} \rho V_a^2,$$

where ( $\rho$ ) is air density. The aircraft weight is



$$W_m = mg,$$

where (m) is aircraft mass and (g) is gravitational acceleration. In level flight, lift is assumed to approximately balance weight. The lift coefficient is therefore estimated as

$$C_L = \frac{W_m}{qS},$$

where (S) is wing reference area. The induced drag coefficient is calculated as

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi e AR},$$

where (e) is the Oswald efficiency factor and (AR) is the wing aspect ratio. The total aerodynamic drag is

$$D = qS(C_{D0} + C_{Di}),$$

where ( $C_{D0}$ ) is the zero-lift drag coefficient. The mechanical power required to overcome drag is

$$P_{mech} = DV_a.$$

The electrical power drawn from the battery is calculated by dividing mechanical power by propulsive efficiency:

$$P_e = \frac{P_{me}}{\eta_p},$$

where ( $\eta_p$ ) is the propulsive efficiency. This model explains why the shortest path is not always the lowest-energy path. High airspeed increases parasitic drag, while very low airspeed increases induced drag. Therefore, energy-efficient flight requires appropriate airspeed selection and not only distance minimization.

### Battery Energy and State-of-Charge

The total available battery energy is calculated from nominal battery capacity and voltage:

$$E_{bat} = Q_{Ah} \cdot 3600 \cdot V_{bat},$$

where ( $Q_{Ah}$ ) is battery capacity in ampere-hours and ( $V_{bat}$ ) is nominal battery voltage. The total consumed electrical energy over the mission is

$$E = \int_0^T P_e(t) dt.$$

The battery state-of-charge is updated as

$$SoC(t) = SoC_0 - \frac{1}{E_{bat}} \int_0^t P_e(\tau) d\tau.$$

In the discrete MATLAB implementation, the energy objective is evaluated as

$$E \approx \sum_{k=1}^{N-1} P_{e,k} \Delta t_k.$$

This battery model assumes constant nominal voltage. It is suitable for comparing trajectory strategies, although future work may include voltage sag, temperature, and discharge-rate effects.

### Direct Flight Baseline

For direct flight, the UAV moves from the start point (A) to the goal point (B). The unit direction vector is

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{A}}{\|\mathbf{B} - \mathbf{A}\|}.$$

The commanded air-relative velocity is

$$\mathbf{V}_{a,cmd} = V_{cmd} \mathbf{d}.$$

The resulting ground velocity is calculated by adding wind:

$$\mathbf{V}_g = \mathbf{V}_{a,cmd} + \mathbf{W}.$$

The position is integrated forward in time using

$$\mathbf{p}_{k+1} = \mathbf{p}_k + \mathbf{V}_{g,k} \Delta t.$$

Two direct baselines are computed. The first uses zero wind and represents calm-air direct flight. The second uses the generated wind field and represents direct wind flight. These baselines provide reference values for evaluating optimized methods.

### Bezier Trajectory Optimization

The Bezier method represents the spatial path using a cubic Bezier curve:

$$\mathbf{B}(u) = (1-u)^3 \mathbf{P}_0 + 3(1-u)^2 u \mathbf{P}_1 + 3(1-u) u^2 \mathbf{P}_2 + u^3 \mathbf{P}_3, \quad 0 \leq u \leq 1.$$

The start point is ( $_0=$ ), and the goal point is ( $_3=$ ). The internal control points ( $_1$ ) and ( $_2$ ) define the shape of the curve. In the implementation, altitude is kept constant, so the decision variables are the horizontal coordinates of the control points and the total mission time:

$$\theta_B = [P_{1x} \ P_{1y} \ P_{2x} \ P_{2y} \ T]^T.$$

For a candidate decision vector, the Bezier path is discretized into (N) points. The ground velocity between neighboring points is approximated as

$$\mathbf{V}_{g,k} = \frac{\mathbf{p}_{k+1} - \mathbf{p}_k}{t_{k+1} - t_k}.$$

The airspeed is then computed from wind:

$$V_{a,k} = \|\mathbf{V}_{g,k} - \mathbf{W}_k\|.$$

The optimizer minimizes the total electrical energy of the Bezier path:

$$\min_{\theta_B} J_B(\theta_B) = \sum_{k=1}^{N-1} P_e(V_{a,k}) \Delta t_k.$$

The optimization is solved in MATLAB using constrained nonlinear programming. The objective function computes the path, evaluates wind at each time step, calculates airspeed, calculates electrical power, and sums total energy. The final optimized path is then simulated again at the output resolution to calculate final metrics and plots.

### Polynomial Segment Optimization

The polynomial method is used for waypoint-based trajectory generation. The path is divided into quintic polynomial segments. For segment (j), the position is written as

$$\mathbf{p}_j(\tau) = \mathbf{a}_{0,j} + \mathbf{a}_{1,j}\tau + \mathbf{a}_{2,j}\tau^2 + \mathbf{a}_{3,j}\tau^3 + \mathbf{a}_{4,j}\tau^4 + \mathbf{a}_{5,j}\tau^5.$$

The local segment time is ( $_j$ ), where

$$0 \leq \tau \leq T_j.$$

The six polynomial coefficients are determined from boundary conditions on position, velocity, and acceleration:

$$\begin{aligned} \mathbf{p}_j(0) &= \mathbf{p}_{j,0}, & \dot{\mathbf{p}}_j(0) &= \mathbf{v}_{j,0}, & \ddot{\mathbf{p}}_j(0) &= \mathbf{a}_{j,0}, \\ \mathbf{p}_j(T_j) &= \mathbf{p}_{j,f}, & \dot{\mathbf{p}}_j(T_j) &= \mathbf{v}_{j,f}, & \ddot{\mathbf{p}}_j(T_j) &= \mathbf{a}_{j,f}. \end{aligned}$$

In the implemented case, the trajectory passes through an intermediate waypoint. The optimized decision vector contains the two segment durations and the horizontal velocity at the intermediate waypoint:

$$\theta_P = [T_1 \ T_2 \ v_{mid,x} \ v_{mid,y}]^T.$$

The polynomial optimization problem is

$$\min_{\theta_P} J_P(\theta_P) = \sum_{k=1}^{N-1} P_e(V_{a,k}) \Delta t_k.$$

During optimization, a fixed collocation grid is used so that the nonlinear constraint vector has constant size for the optimizer. After optimization, the final polynomial trajectory is regenerated using the normal simulation time step for output plots and metrics.

### Adaptive Velocity Profiling

The velocity-profiling method keeps the spatial path fixed and optimizes the speed along the path. The path is first divided into (K) segments with segment length ( $s_k$ ). The segment time is

$$\Delta t_k = \frac{\Delta s_k}{v_k},$$

where ( $v_k$ ) is the selected groundspeed for segment ( $k$ ). The ground velocity vector on the segment is

$$\mathbf{V}_{g,k} = v_k \mathbf{t}_k,$$

where ( $\mathbf{t}_k$ ) is the unit tangent vector along the path. The airspeed on the segment is

$$V_{a,k} = \|\mathbf{V}_{g,k} - \mathbf{W}_k\|.$$

The velocity-profile optimization problem is

$$\min_{\{v_k\}} J_V = \sum_{k=1}^K P_e(V_{a,k}) \Delta t_k.$$

This method is useful when the UAV must follow a prescribed route but can still adjust its flight mode. In the implementation, the optimized Bezier spatial path is used as the reference path for velocity profiling.

### Constraints Used in the Optimization

All optimized methods are subject to flight feasibility constraints. The airspeed must remain within fixed-wing operating limits:

$$V_{a,min} \leq V_a(t) \leq V_{a,max}.$$

The mission must satisfy the time deadline:

$$T \leq T_{max}.$$

The trajectory curvature must not exceed the curvature limit:

$$\kappa(t) \leq \kappa_{max}.$$

The curvature limit is estimated from maximum bank angle:

$$\kappa_{max} \approx \frac{g \tan(\phi_{max})}{V_{ref}^2},$$

where ( $\phi_{max}$ ) is the maximum bank angle and ( $V_{ref}$ ) is a representative flight speed.

For velocity profiling, an acceleration smoothness constraint is also used:

$$\left| \frac{v_{k+1} - v_k}{\Delta t_k} \right| \leq a_{max}.$$

These constraints prevent unrealistic solutions, such as flying too slowly, too fast, turning too sharply, or using discontinuous speed changes.

### Computational Workflow

The MATLAB implementation follows a structured workflow. First, aircraft parameters, battery parameters, mission points, and wind parameters are defined. Second, the steady wind and stochastic gust field are generated. Third, direct calm-air and direct wind baselines are simulated. Fourth, Bezier trajectory optimization, polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling are solved using constrained nonlinear optimization. Finally, all results are evaluated with the same metrics and saved as tables and figures.

The general computational procedure is:

1. Define start point, goal point, aircraft parameters, battery parameters, and simulation time step.
2. Generate the wind field as steady wind plus colored stochastic gusts.
3. Simulate direct flight in calm air.
4. Simulate direct flight under wind.
5. Optimize the Bezier trajectory using control points and mission time.
6. Optimize the polynomial trajectory using segment times and intermediate waypoint velocity.
7. Optimize the velocity profile along the optimized Bezier path.

- 8. Calculate total energy, final state-of-charge, mission duration, path length, airspeed, groundspeed, power, and curvature.
- 9. Export the results to MAT, and PNG files.

The same energy model is used for every case. This makes the comparison fair because differences in results come from trajectory geometry, speed selection, and wind interaction rather than from different evaluation formulas.

Performance Metrics

The main performance metric is total electrical energy:

$$E_{total} = \sum_{k=1}^{N-1} P_{e,k} \Delta t_k.$$

The final battery state-of-charge is

$$SoC_f = SoC_0 - \frac{E_{total}}{E_{bat}}.$$

Average airspeed is calculated as

$$\bar{V}_a = \frac{1}{N_a} \sum_{k=1}^{N_a} V_{a,k},$$

where (N\_a) is the number of valid positive airspeed samples. Average groundspeed is calculated similarly:

$$\bar{V}_g = \frac{1}{N_g} \sum_{k=1}^{N_g} \| \mathbf{v}_{g,k} \|.$$

Energy saving relative to the direct wind baseline is calculated as

$$S_{wind} = \frac{E_{wind} - E_{method}}{E_{wind}} \times 100\%.$$

These metrics allow direct comparison between the baseline and optimized trajectory methods. A method is considered better only if it reduces energy while still satisfying airspeed, time, curvature, and acceleration constraints.

RESULTS AND ANALYSIS

This section presents the simulation results obtained from the updated MATLAB implementation. The same aircraft model, battery model, wind field, and evaluation equations were used for all cases. The compared cases include direct flight in calm air, direct flight under wind, Bezier trajectory optimization, polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling. The main objective was to determine whether optimized trajectory and flight-mode calculation can reduce electrical energy consumption while satisfying flight feasibility constraints.

Simulation Cases

| Case                | Description                                                              | Purpose                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| NoWindDirect        | Straight route, no wind, constant 18 m/s airspeed.                       | Calm-air reference case.                       |
| WindDirect          | Straight route, wind included, constant 18 m/s airspeed.                 | Wind-affected baseline.                        |
| BezierOptimized     | Bezier control points and mission time optimized.                        | Compact smooth path optimization.              |
| PolynomialOptimized | Quintic segments with optimized segment times and intermediate velocity. | Waypoint-based smooth trajectory optimization. |
| VelocityProfile     | Speed optimized along the Bezier spatial path.                           | Flight-mode optimization along a fixed path.   |

Table 3. Simulated cases used in the comparison.

The mission connects the start point  $A = [0, 0, -100]$  m to the goal point  $B = [5000, 1000, -100]$  m. The UAV is modeled as a fixed-wing aircraft with a 10 Ah, 11.1 V battery. The wind case uses a steady 10 m/s wind from 270 degrees with stochastic gust disturbances. Because the wind direction is favorable for the mostly eastward route, the direct wind case has lower energy consumption than the calm-air direct case. This is not an error; it shows that wind can either increase or decrease energy depending on its direction relative to the mission path.

### Trajectory and Wind Visualization

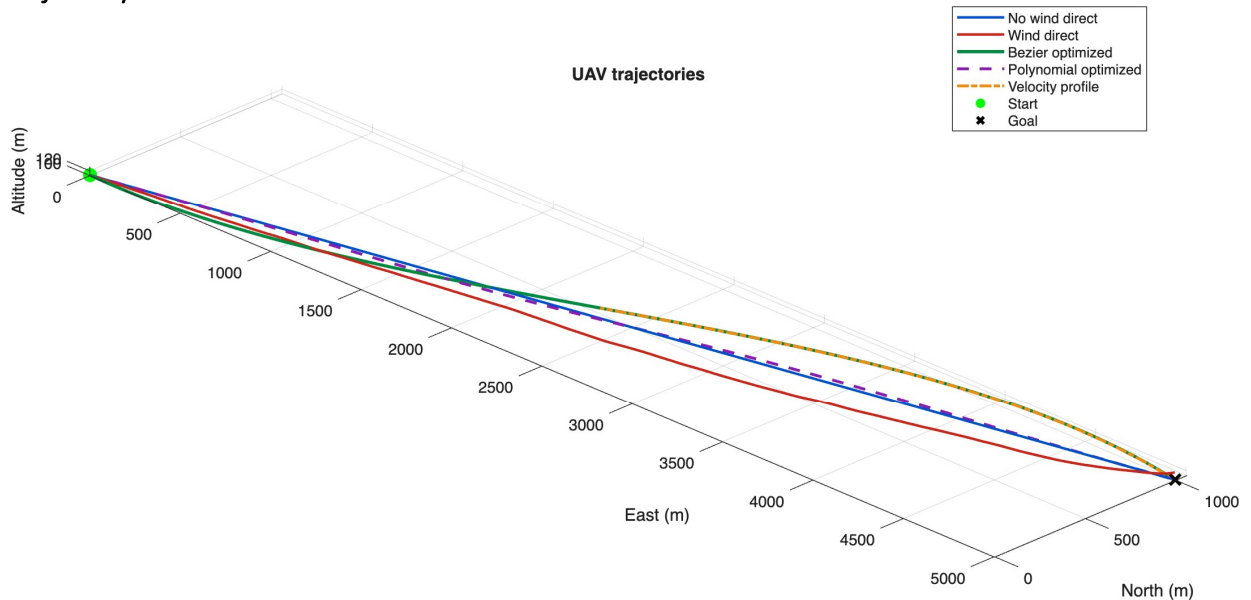


Figure 1. Algorithm trajectory comparison without wind arrows. This clean plot shows the direct and optimized paths.

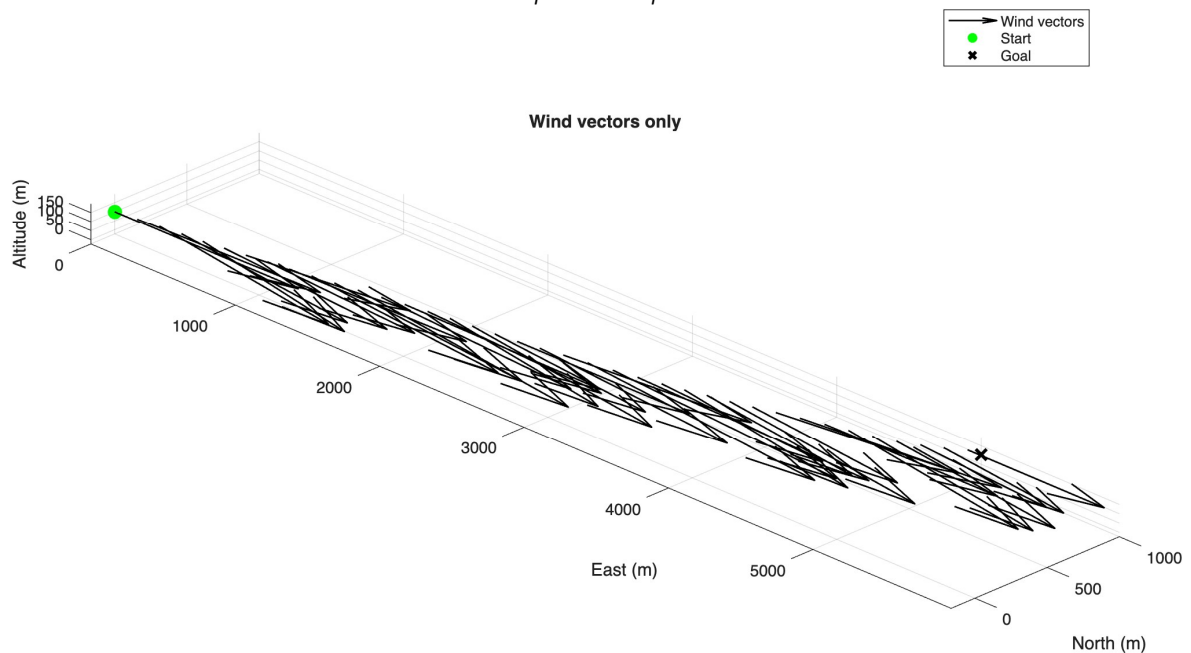


Figure 2. Wind direction vectors shown separately. Separating wind arrows avoids hiding the trajectory geometry.

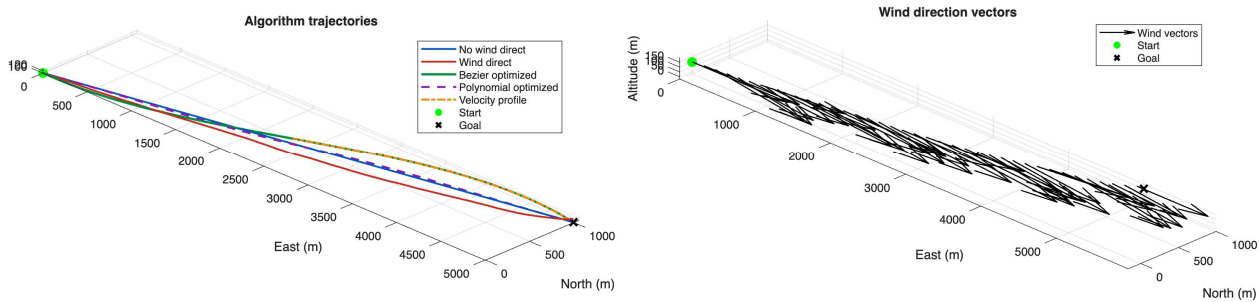


Figure 3. Side-by-side comparison of algorithm trajectories and wind direction vectors.

The trajectory plots show that the optimized methods do not simply create a much shorter path. Instead, the improvement comes from the combined effect of path smoothness, selected mission time, airspeed reduction, and interaction with the favorable wind. The separate wind-vector figure is useful because the wind arrows are visually dense and can make the trajectory plot difficult to interpret when both are placed on the same axes.

Energy and State-of-Charge Results

| Scenario            | Energy (kJ) | Final SoC (%) | Mission time (s) | Path length (m) | Avg airspeed (m/s) | Avg groundspeed (m/s) | Savings vs wind (%) |
|---------------------|-------------|---------------|------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| NoWindDirect        | 38.11       | 90.46         | 282.8            | 5090            | 18.00              | 18.00                 | -50.29              |
| WindDirect          | 25.35       | 93.65         | 188.2            | 5147            | 18.00              | 27.35                 | 0.00                |
| BezierOptimized     | 19.64       | 95.09         | 234.1            | 5163            | 12.87              | 22.05                 | 22.54               |
| PolynomialOptimized | 19.40       | 95.15         | 224.9            | 5101            | 13.25              | 22.69                 | 23.48               |
| VelocityProfile     | 19.55       | 95.11         | 234.6            | 5162            | 12.81              | 22.00                 | 22.91               |

Table 2. Main numerical results for direct and optimized UAV flight cases.

The calm-air direct baseline consumed 38.11 kJ and ended with 90.46% battery state-of-charge. The direct wind baseline consumed 25.35 kJ and ended with 93.65% state-of-charge. The wind baseline is more efficient than the calm-air baseline because the simulated wind has a tailwind component along the main direction of travel. This reduces the mission time from 282.8 s to 188.2 s while keeping the commanded airspeed at 18 m/s.

The optimized methods achieved additional energy savings relative to direct wind flight. Bezier optimization consumed 19.64 kJ, polynomial optimization consumed 19.40 kJ, and velocity profiling consumed 19.55 kJ. The best case was PolynomialOptimized, which consumed 19.40 kJ and saved 23.48% compared with direct wind flight.

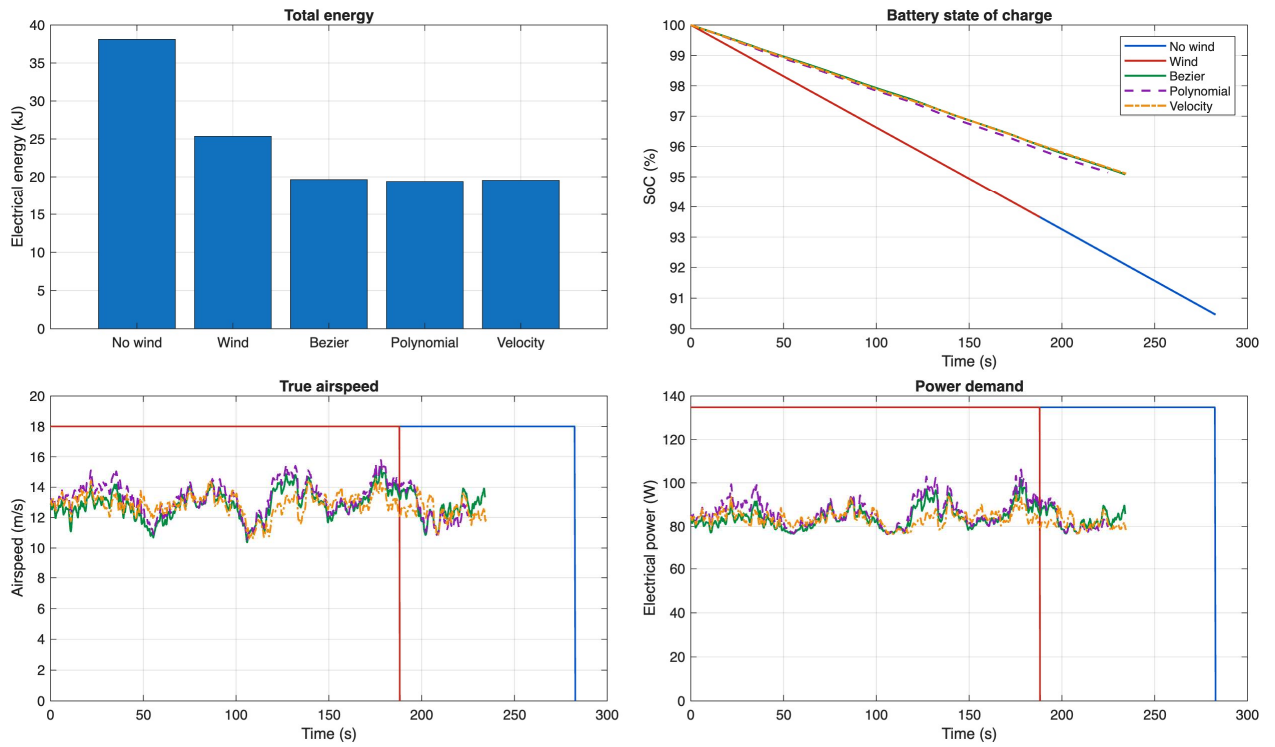


Figure 4. Energy, state-of-charge, airspeed, and power comparison for all simulated cases. Power, Airspeed, and Curvature Analysis

| Scenario            | Peak power (W) | Average power (W) | Max curvature (1/m) | Curvature limit (1/m) | Energy saving vs calm (%) |
|---------------------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| NoWindDirect        | 134.79         | 134.74            | 0.00000             | 0.02119               | 0.00                      |
| WindDirect          | 134.79         | 134.72            | 0.03159             | 0.02119               | 33.46                     |
| BezierOptimized     | 101.63         | 83.88             | 0.00032             | 0.04148               | 48.46                     |
| PolynomialOptimized | 106.22         | 86.28             | 0.00009             | 0.03913               | 49.09                     |
| VelocityProfile     | 94.41          | 83.30             | 0.00660             | 0.04184               | 48.71                     |

Table 3. Power demand, curvature, and energy saving relative to calm-air direct flight.

The optimized methods reduce energy mainly by operating at lower average airspeed and lower average power while still satisfying the mission deadline. Direct wind flight has an average airspeed of 18.00 m/s, while the optimized cases use average airspeeds around 12.81-13.25 m/s. Because aerodynamic power is nonlinear with airspeed, this reduction produces a large energy benefit.

The peak power of direct wind flight is 134.79 W. The optimized methods reduce peak power to 94.41-106.22 W. Lower peak power is useful because it reduces electrical load on the propulsion system and battery. The optimized paths also remain within their curvature feasibility limits, which means the solutions are more suitable for fixed-wing flight than an unconstrained geometric path.

### Comparison of Optimization Methods

The Bezier method provides a compact and smooth trajectory representation. It uses only two internal control points and mission time as decision variables. This makes it suitable for missions where the start and goal are known and the UAV has freedom to adjust the path shape.

The polynomial method gives the lowest energy in this simulation. Its advantage is that it can pass through a required intermediate waypoint while still optimizing segment time and



intermediate velocity. This makes it useful for missions with required inspection points or waypoint constraints.

The velocity-profile method is useful when the path is already fixed but the UAV can choose how fast to fly along different path segments. Its result is close to the Bezier and polynomial methods, showing that flight-mode scheduling alone can provide significant energy saving when wind and airspeed are modeled.

### **Main Interpretation**

The results confirm that the shortest or fastest path is not always the most energy-efficient solution. In this scenario, the wind direction is favorable, so direct wind flight already improves energy compared with calm-air flight. However, the optimized methods reduce energy further by selecting smoother paths and more efficient airspeed profiles. Therefore, the main conclusion from the results is that UAV energy saving requires joint calculation of trajectory geometry, airspeed, wind interaction, and mission constraints.

Overall, the best method in this simulation was PolynomialOptimized. It reduced energy consumption from 25.35 kJ for direct wind flight to 19.40 kJ. This corresponds to a saving of 23.48% relative to the wind baseline and 49.09% relative to calm-air direct flight. These results support the research idea that energy-efficient UAV mission planning should optimize both path and flight mode instead of relying only on direct geometric routing.

### **CONCLUSION**

This research investigated methods for calculating fixed-wing UAV flight modes along arbitrary trajectories with the purpose of reducing electrical energy consumption. The main problem was that the shortest geometric path is not always the most energy-efficient path, because UAV energy use depends on airspeed, wind direction, aerodynamic drag, mission time, and trajectory feasibility. To study this problem, a MATLAB-based computational model was developed using a wind-aware fixed-wing power model, battery state-of-charge calculation, and constrained trajectory optimization.

The research compared direct flight in calm air, direct flight under wind, cubic Bezier trajectory optimization, quintic polynomial segment optimization, and adaptive velocity profiling. The upgraded model included both parasitic and induced drag, steady wind with stochastic gusts, airspeed limits, mission-time constraints, curvature constraints, and acceleration constraints for velocity profiling. This made the comparison more realistic and prevented physically unreasonable energy-saving results.

The simulation results showed that energy-efficient UAV planning cannot be based only on distance minimization. In the tested mission, the wind direction was favorable, so direct flight under wind used less energy than direct flight in calm air. However, the optimized methods reduced energy even further. The best result was achieved by polynomial trajectory optimization, which consumed about 19.40 kJ and saved approximately 23.5% energy compared with direct wind flight. Bezier optimization and adaptive velocity profiling also produced significant savings of about 22.5-22.9%.

## REFERENCES

- [1] Thibbotuwawa, A., Bocewicz, G., Radzki, G., Nielsen, P., & Banaszak, Z. (2020). UAV mission planning resistant to weather uncertainty. *Sensors*, 20(2), 515. <https://doi.org/10.3390/s20020515>
- [2] Ribeiro, P., Coelho, A., & Campos, R. (2024). On the energy consumption of rotary wing and fixed wing UAVs in flying networks. *Scientific Reports*, 14, 12847. <https://arxiv.org/html/2406.19009v1>
- [3] Rostami, M., Farajollahi, A., & Habibi, P. (2025). Power management of hybrid fuel cell fixed wing UAVs using a fuzzy reinforcement learning system optimized with meta-heuristic methods. *Scientific Reports*, 16, 2534. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32313-2>
- [4] Optimize UAV path planning for mission efficiency. BQP Simulation. (2026, January 18). <https://www.bqpsim.com/articles/uav-path-planning-optimization>
- [5] Dai, X., Duo, B., Yuan, X., & Di Renzo, M. (2023). Energy-efficient UAV communications in the presence of wind: 3D modeling and trajectory design. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 23(3), 1840-1854. <https://doi.org/10.1109/TWC.2023.3241869>
- [6] Thibbotuwawa, A., Nielsen, P., Zbigniew, B., & Bocewicz, G. (2018). Energy consumption in unmanned aerial vehicles: A review of energy consumption models and their relation to the UAV routing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 853, 173-184. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8_16)
- [7] Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G. G., & Magierowski, S. (2017). Vehicle routing problems for drone delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70-85. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2582745>
- [8] Banerjee, P., & Bradner, K. (2024). Energy-optimized path planning for UAS in varying winds via reinforcement learning. *AIAA AVIATION FORUM AND ASCEND 2024*, 4545. [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240008251/downloads/AIAA\\_traj\\_planning\\_PB\\_KB\\_final.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240008251/downloads/AIAA_traj_planning_PB_KB_final.pdf)
- [9] XIE Chenxiao, & HUANG Xin-Lin. (2022). Energy-efficiency maximization for fixed-wing UAV-enabled relay network with circular trajectory. *Chinese Journal of Aeronautics*, 35(9), 204-217. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.11.006>
- [10] Oeste, C. F., et al. (2020). Battery state of charge calculation with EPC converters. *EPC Application Note-AN026*, 1-8. [https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/application-notes/AN026\\_Battery\\_State\\_of\\_Charge\\_Calculation\\_with\\_EPC\\_Converters.pdf](https://epc-co.com/epc/Portals/0/epc/documents/application-notes/AN026_Battery_State_of_Charge_Calculation_with_EPC_Converters.pdf)
- [11] Falkowski, K., & Duda, M. (2023). Dynamic models identification for kinematics and energy consumption of rotary-wing UAVs during different flight states. *Sensors*, 23(23), 9378. <https://doi.org/10.3390/s23239378>
- [12] Al Satai, H., Abdul Zahra, M. M., Rasool, Z. I., Abd-Ali, R. S., & Pruncu, C. I. (2021). Bézier curves-based optimal trajectory design for multirotor UAVs with any-angle pathfinding algorithms. *Sensors*, 21(7), 2460. <https://doi.org/10.3390/s21072460>
- [13] Xu, G., et al. (2025). A comparative study of drones path planning and Bezier curve optimization methods. *PLOS ONE*, 20(6), e0326633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326633>
- [14] Al Satai, H., Abdul Zahra, M. M., Rasool, Z. I., Abd-Ali, R. S., & Pruncu, C. I. (2021). Bézier curves-based optimal trajectory design for multirotor UAVs with any-angle pathfinding algorithms. *Sensors*, 21(7), 2460. <https://doi.org/10.3390/s21072460>
- [15] Ranjan, A., et al. (2022). Energy-aware 3D leader-follower flight trajectory. *International Journal of Dynamics and Control*, 11, 1628-1642. <https://www.isaacw.com/publication/ranjan2022energy/ranjan2022energy.pdf>

- [16] Cubic spline based path planning for UAV. (2019). *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 8(12), 55-67. <https://ijcsmc.com/docs/papers/December2019/V8I12201919.pdf>
- [17] Nikolaiev, M., & Novotarskyi, M. (2025). An enhanced adaptive B-spline smoothing approach for UAV path planning. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 17(4), 1-15. <https://www.mecspress.org/ijisa/ijisa-v17-n4/IJISA-V17-N4-1.pdf>
- [18] Bouček, Z., Flídr, M., & Straka, O. (2024). UAV trajectory planning with path processing. *arXiv preprint*, arXiv:2407.01366. <https://arxiv.org/html/2407.01366v1>
- [19] Segmented UAV trajectory optimization via fifth-order polynomial approximation. (2026). *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 17(1), 15905. <https://doi.org/10.48084/etasr.9427>
- [20] Zhang, Y., Lyu, J., & Fu, L. (2021). Energy-efficient trajectory design for UAV-aided maritime data collection in wind. *arXiv preprint*, arXiv:2112.13396. <https://arxiv.org/abs/2112.13396>
- [21] Rienecker, H., Hildebrand, V., & Pfifer, H. (2023). Energy optimal 3D flight path planning for unmanned aerial vehicle in urban environments. *CEAS Aeronautical Journal*, 15, 133-148. <https://doi.org/10.1007/s13272-023-00666-x>
- [22] Krawczyk, Z., Vuppala, R. K. S. S., Paul, R., & Kara, K. (2025). Urban wind field effects on the flight dynamics of fixed-wing drones. *Drones*, 9(5), 362. <https://doi.org/10.3390/drones9050362>
- [23] Fu, Y., An, W., Su, X., & Song, B. (2025). Real-time wind estimation for fixed-wing UAVs. *Drones*, 9(1), 63. <https://doi.org/10.3390/drones9010063>
- [24] Gao, X. Z., Hou, Z. X., Guo, Z., & Chen, X. Q. (2014). Analysis and design of guidance-strategy for dynamic soaring. *Control Theory & Applications*, 8(4), 434-443. <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2013.0674>
- [25] Michel, N., Patnaik, A., Kong, Z., & Lin, X. (2024). Energy-optimal planning of waypoint-based UAV missions: Does minimum distance mean minimum energy? *arXiv preprint*, arXiv:2410.17585. <https://arxiv.org/html/2410.17585v1>
- [26] Ahmed, G., Sheltami, T., Deriche, M., & Yasar, A. (2023). Energy-efficient UAVs coverage path planning approach. *Sensors*, 23(17), 7398. [https://documentserver.uhasselt.be/bitstream/1942/39999/1/Energy-Efficient\\_UAVs\\_Coverage\\_Path\\_Planning\\_Appro.pdf](https://documentserver.uhasselt.be/bitstream/1942/39999/1/Energy-Efficient_UAVs_Coverage_Path_Planning_Appro.pdf)
- [27] 3D trajectory optimization for energy-efficient UAV communication. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(4), 2490-2502. <https://ddfe.curtin.edu.au/yurong/UAV.pdf>
- [28] Bouček, Z., Flídr, M., & Straka, O. (2024). UAV trajectory planning with path processing using pseudospectral methods. *arXiv preprint*, arXiv:2407.01366. <https://arxiv.org/html/2407.01366v1>
- [29] Banerjee, P., & Bradner, K. (2024). Energy-optimized path planning for UAS in varying winds via reinforcement learning. *AIAA AVIATION* 2024, 4545. [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240008251/downloads/AIAA\\_traj\\_planning\\_PB\\_KB\\_final.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20240008251/downloads/AIAA_traj_planning_PB_KB_final.pdf)
- [30] Handover-aware URLLC UAV trajectory planning using graph-of-convex-sets. (2025). *arXiv preprint*, arXiv:2511.13429. <https://arxiv.org/pdf/2511.13429.pdf>
- [31] Modeling and simulation of dual-battery FANET system for energy optimization. (2025). *Scientific Reports*, 15, 30429. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30429-z>

# РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ

**Лесов Рафхат Узакбайулы**

Магистрант, Университет Туран, г. Алматы, Казахстан

**Алимкулова Джанна Рыскуловна**

Научный руководитель, к.т.н., профессор, Университет Туран, г. Алматы, Казахстан

## DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO IDENTIFY AND PREVENT THE SPREAD OF FAKE NEWS

**Lessov Rafkhat Uzakbayuly**

Master's student, University of Turan, Almaty, Kazakhstan

**Alimkulova Janna Ryskulovna**

Scientific supervisor, Phd, professor. University of Turan, Almaty, Kazakhstan

**Аннотация:** В статье представлены результаты разработки и экспериментальной верификации метода автоматического выявления фейковых новостей на основе технологий искусственного интеллекта применительно к русскоязычному медиапространству Казахстана. Предложена модульная архитектура системы, объединяющая многоэтапный конвейер предобработки текстов (токенизация, лемматизация посредством *pymorphy2*), TF-IDF-векторизацию с биграммами, авторский набор из 12 стилометрических признаков и классификатор на базе алгоритма *LightGBM* с байесовской оптимизацией гиперпараметров. Для обеспечения интерпретируемости решений применён механизм SHAP-анализа. По результатам экспериментальной оценки система достигла  $\text{Accuracy} = 0,898$ ,  $\text{F1-score} = 0,897$ ,  $\text{ROC-AUC} = 0,956$  на тестовой выборке и  $\text{Accuracy} = 0,877$  при апробации на 150 реальных казахстанских новостных материалах, при времени инференса менее 60 мс. Обоснован принцип разумной достаточности при выборе метода классификации, позволяющий достичь практически применимого качества без использования тяжёлых трансформерных архитектур.

**Abstract:** The article presents the results of the development and experimental verification of a method for automatic detection of fake news based on artificial intelligence technologies as applied to the Russian-language media space of Kazakhstan. We propose a modular system architecture combining a multi-stage text preprocessing pipeline (tokenization, lemmatization using *pymorphy2*), TF-IDF vectorization with bigrams, a proprietary set of 12 stylometric features, and a classifier based on the *LightGBM* algorithm with Bayesian hyperparameter optimization. To ensure the interpretability of solutions, we apply the SHAP analysis mechanism. According to the experimental evaluation results, the system achieved  $\text{Accuracy} = 0.898$ ,  $\text{F1-score} = 0.897$ ,  $\text{ROC-AUC} = 0.956$  on the test set and  $\text{Accuracy} = 0.877$  when tested on 150 real Kazakhstani news materials, with an inference time of less than 60 ms. The principle of reasonable sufficiency in choosing a

*classification method is substantiated, allowing one to achieve practically applicable quality without using heavy transformer architectures.*

**Ключевые слова:** *фейковые новости, дезинформация, машинное обучение, TF-IDF, LightGBM, стилометрия, SHAP, казахстанское медиапространство, верификация информации.*

**Keywords:** *fake news, disinformation, machine learning, TF-IDF, LightGBM, stylometry, SHAP, Kazakhstani media space, information verification.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современном информационном обществе проблема распространения недостоверной информации приобрела беспрецедентный масштаб. Стремительное развитие цифровых технологий, социальных сетей и мессенджеров создало среду, в которой ложные сведения распространяются со скоростью, кратно превосходящей возможности традиционных механизмов верификации. Согласно масштабному исследованию Vosoughi, Roy и Aral (2018), проведённому на основе анализа 126 000 новостных цепочек в Twitter, фейковые новости достигают аудитории в 1500 пользователей в шесть раз быстрее, чем достоверные материалы, что объясняется большей эмоциональной насыщенностью дезинформационного контента [1].

В контексте казахстанского медиапространства проблема приобретает особую специфику: существующие международные системы детектирования фейков ориентированы преимущественно на англоязычный контент, тогда как казахстанские медиа функционируют на казахском и русском языках. Пандемия COVID-19 наглядно продемонстрировала, как информационная «инфодемия» способна нанести не меньший ущерб, чем сам патоген, а ограниченность традиционных методов верификации - ручного фактчекинга, краудсорсинговых платформ и программ медиаграмотности - обнаружилась с особой очевидностью.

Целью настоящей статьи является представление разработанного комплексного метода и программной архитектуры системы автоматического выявления фейковых новостей, ориентированной на обработку русскоязычного новостного контента в условиях казахстанского информационного пространства, с обеспечением высокой точности классификации и интерпретируемости результатов.

## 1. ФЕНОМЕН ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ: ТИПОЛОГИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

### 1.1. Классификация форм дезинформации

Термин «фейковые новости» в научной литературе не имеет единого общепринятого определения. Allcott и Gentzkow (2017) предложили строгое определение: фейковые новости - это «новостные статьи, которые являются преднамеренно и поддающимися проверке ложными и могут ввести читателей в заблуждение». Wardle и Derakhshan разграничивают три смежных явления: дезинформация (намеренно ложная информация), миздинформация (неточная без умысла) и малинформация (основанная на фактах, но применяемая с целью причинения вреда) [2].

С точки зрения структурной типологии выделяют шесть основных форм: сатирические новости, создаваемые с юмористическими целями, но способные вводить читателей в заблуждение при отсутствии чёткой маркировки; «кликбейт» - заголовки с намеренно вводящими в заблуждение формулировками; пропагандистские материалы

идеологического характера; псевдонаучный контент; теории заговора; а также технологически сложные формы - синтезированные дипфейки, автоматически генерируемые тексты на основе больших языковых моделей, скоординированные сети ботов.

**Таблица 1 - Типология форм недостоверного информационного контента.**

| Тип           | Характеристика                       | Цель создания                |
|---------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Дезинформация | Намеренно ложный контент             | Манипуляция, нанесение вреда |
| Мисинформация | Непреднамеренно неточный контент     | Умысел отсутствует           |
| Пропаганда    | Идеологически ангажированный контент | Формирование мировоззрения   |
| Кликбейт      | Сенсационные заголовки без основания | Привлечение трафика          |
| Deepfake      | Синтетические медиа на основе ИИ     | Дискредитация, мошенничество |

## 1.2. Ограниченность традиционных методов верификации

Традиционные подходы к противодействию дезинформации обладают принципиальными ограничениями. По данным Duke Reporters' Lab (2020), в мире действовало около 300 активных фактчекинговых организаций, способных ежедневно верифицировать лишь несколько сотен утверждений, тогда как только в Facebook ежедневно публикуется свыше 500 миллионов постов. В Казахстане вопросами верификации занимаются «Faktcheck.kz» и ряд других медиаорганизаций, однако их возможности ограничены масштабом контентопотока [3].

Краудсорсинговые подходы (система Community Notes в Twitter/X, Facebook's Third-Party Fact-Checking Program) теоретически позволяют масштабировать процесс, однако сопряжены с рисками манипуляции организованными группами и сложностью достижения консенсуса по политически спорным вопросам. Данные ограничения обуславливают необходимость разработки автоматизированных систем выявления фейков на основе методов ИИ.

## 2. ОБЗОР МЕТОДОВ ИИ В ЗАДАЧЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ДЕЗИНФОРМАЦИИ

### 2.1. Эволюция машинного обучения в детекции фейков

Применение методов машинного обучения для автоматического выявления фейков активно развивается с середины 2010-х годов. Первый этап был связан с классическими алгоритмами (Naive Bayes, SVM, Random Forest, Gradient Boosting) в сочетании с TF-IDF-векторизацией текстов и лингвистическими признаками, достигавшими точности 70-85%. Ключевое наблюдение: фейковые новости демонстрируют характерные стилистические паттерны - более высокую частоту модальных глаголов и усилителей («определённо», «абсолютно»), большее количество восклицательных предложений, неопределённые ссылки на источники («по данным экспертов») [4].



Существенный прогресс был достигнут с применением нейросетевых архитектур: BiLSTM-сети (87–93%), трансформерные модели BERT/RoBERTa (92–97%). Однако высокоточные подходы требуют значительных вычислительных ресурсов - для дообучения RuBERT необходимо не менее 8–16 ГБ видеопамяти GPU и несколько часов вычислений, что ограничивает их практическое применение в региональном контексте с ограниченными ресурсами.

2.2. Мультимодальные и граф-нейросетевые подходы

Граф-нейронные сети (GNN) открывают принципиально новое измерение в детекции фейков, позволяя моделировать паттерны распространения контента в социальных сетях [5]. Модель BiGCN (Bian et al., 2020), использующая двунаправленные графовые свёрточные сети для моделирования восходящих и нисходящих паттернов распространения, достигает точности 88,7% на датасете Twitter15 и 90,3% на Twitter16. Исследования демонстрируют, что фейки распространяются «звездообразно» (от одного источника к многим), тогда как достоверные новости имеют «дерево-образную» структуру с множественными независимыми ветвями.

Мультимодальные системы, объединяющие анализ текста, изображений (архитектуры CLIP, ViLBERT) и метаданных, превосходят унимодальные подходы на 5–8 п.п. по F1-score, выявляя манипуляции, при которых реальные изображения используются в ложном контексте. Обратный поиск изображений (Google Images, InVid, WeVerify) является эффективным инструментом верификации визуального контента, широко применяемым в профессиональной журналистике.

Таблица 2 - Сравнительная характеристика основных подходов к автоматическому выявлению фейков.

| Метод                     | Точность (avg.) | Преимущества                     | Ограничения               |
|---------------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Классические ML (SVM, NB) | 70–85%          | Интерпретируемость, быстрота     | Ограниченная точность     |
| CNN / BiLSTM              | 87–93%          | Контекстный анализ текста        | Требует крупных датасетов |
| BERT / RoBERTa            | 92–97%          | Высокая точность, трансфер       | Высокие требования к GPU  |
| GNN (граф-нейросети)      | 88–93%          | Учёт социального распространения | Нужны данные соц. сетей   |
| Мультимодальные системы   | 93–98%          | Полный анализ медиаконтента      | Сложность реализации      |
| TF-IDF + LightGBM         | 85–92%          | Интерпретируемость + скорость    | Уступает трансформерам    |



### 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА

#### 3.1. Постановка задачи

Задача автоматического выявления фейков формализована как задача бинарной классификации текстов.

Пусть  $X$  - множество текстовых документов (новостных статей),

$$Y = \{0, 1\}$$

множество меток классов, где 0 соответствует классу «достоверная новость», а 1 - классу «фейк». Требуется построить функцию

$$f: X \rightarrow Y,$$

отображающую произвольный входной текст в метку класса с максимальной возможной точностью на обучающей выборке

$$D = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}.$$

К разрабатываемой системе предъявлялись следующие требования: поддержка обработки текстов на русском языке; время отклика не более 5 секунд на один документ в режиме реального времени; точность классификации не ниже 85%; интерпретируемость - система должна указывать на конкретные лингвистические признаки, обусловившие классификационное решение. Учёт специфики казахстанского медиапространства включал тематическое разнообразие: политика, здравоохранение, экономика, происшествия, технологии.

#### 3.2. Обоснование выбора TF-IDF + LightGBM

Центральным проектным решением стал выбор метода TF-IDF в сочетании с алгоритмом градиентного бустинга LightGBM. Данный выбор продиктован принципом разумной достаточности и несколькими практическими соображениями.

Во-первых, вычислительная эффективность: обучение на датасете из 5 000 текстов занимает секунды против часов для нейросетевых архитектур, а инференс не превышает 60 мс на документ без специализированного GPU. Во-вторых, при объёме обучающей выборки до 10 000 примеров разрыв в качестве между классическими ML-методами и трансформерами существенно сокращается. В-третьих, TF-IDF + LightGBM обладает высокой интерпретируемостью через анализ важности признаков - в отличие от нейросетевых «чёрных ящиков» [6]. Сравнительный анализ шести методов подтвердил превосходство LightGBM над альтернативами по совокупности оценочных метрик.

Метод TF-IDF математически определяется как:

$$\text{TF-IDF}(t, d, D) = \text{TF}(t, d) \times \text{IDF}(t, D),$$

где

$$\text{TF}(t, d) = 1 + \log(f(t, d))$$

логарифмически сглаженная частота терма в документе,

$$\text{IDF}(t, D) = \log((1 + N) / (1 + |\{d \in D: t \in d\}|)) + 1$$

обратная частота документа, отражающая специфичность слова для коллекции. Помимо униграмм, в словарь включены биграммы ( $\text{ngram\_range}=(1,2)$ ) для захвата характерных словосочетаний дезинформационного контента («по имеющимся данным», «источники сообщают»). Нормализация  $l_2$  устраняет влияние длины текста.

## 4. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ

### 4.1. Конвейер предобработки русскоязычных текстов

Разработан многоэтапный конвейер предобработки, включающий следующие последовательные шаги: удаление HTML-разметки и нетекстовых артефактов; нормализация регистра; токенизация с учётом особенностей русского языка посредством библиотеки *razdel*, обеспечивающей корректную обработку сокращений и числительных; удаление стоп-слов с сохранением информативных лексических усилителей; лемматизация посредством морфологического анализатора *rumorphy2* с точностью около 96%.

Применение лемматизации критически важно для русского языка: она позволяет сократить размерность словаря на 30–40% без потери классификационной информации, объединяя различные словоформы одного слова («фейкового», «фейковых», «фейковые» → «фейковый»). Это повышает устойчивость модели к морфологической вариативности, характерной для русскоязычных текстов.

### 4.2. Авторский набор стилометрических признаков

Ключевым вкладом является разработка авторского набора из 12 стилометрических рукотворных признаков, специально адаптированных к характеристикам русскоязычного дезинформационного контента. Данные признаки конкатенируются с TF-IDF вектором размерностью 50 000, формируя итоговый вектор размерностью 50 012.

- Доля восклицательных предложений - отражает эмоциональную интенсивность, характерную для фейков.
- Доля вопросительных предложений - риторические вопросы как манипулятивный приём.
- Средняя длина предложения - фейки, как правило, используют более простые синтаксические конструкции.
- Показатель лексического разнообразия (TTR) - отношение уникальных слов к общему числу токенов.
- Доля заглавных букв - избыточное использование заглавных букв для привлечения внимания.
- Число маркеров фейков (*fake\_marker\_count*) - вхождения характерных клише: «СРОЧНО!», «шокирующий», «сенсация», «скрывают».
- Наличие неопределённых ссылок на источники - конструкции «по данным», «источники сообщают», «эксперты утверждают».
- Длина текста, доля числовых токенов, наличие URL, средняя длина слова, доля знаков препинания.

SNAP-анализ подтвердил информативность рукотворных признаков: признак *fake\_marker\_count* и доля восклицательных предложений вошли в топ-20 наиболее важных

из суммарных 50 012 признаков, что свидетельствует об их высокой дискриминирующей силе относительно TF-IDF компонент [6].

### 4.3. Конвейер обучения и оптимизация

Конвейер обучения включает стратифицированную 5-кратную перекрёстную проверку для надёжной оценки обобщающей способности модели. Оптимизация гиперпараметров LightGBM - num\_leaves, learning\_rate, n\_estimators, reg\_alpha, colsample\_bytree - осуществляется методом байесовской оптимизации посредством библиотеки Optuna, которая строит вероятностную модель функции потерь и обеспечивает более эффективный поиск по сравнению с Grid Search и Random Search.

Датасет для обучения включает 5 000 сбалансированных документов на русском языке с тематическим распределением: политика и выборы (30%), здравоохранение (20%), экономика (20%), происшествия (15%), наука и технологии (15%). Разбивка: 70% обучение / 15% валидация / 15% тестирование. Для сохранения и переносимости модели применяется сериализация через joblib и ONNX Runtime.

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И АПРОБАЦИЯ

### 5.1. Метрики качества и результаты тестирования

Для оценки качества системы применялся комплекс метрик, учитывающий несбалансированность классов:

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}), \text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}), \text{F1} = 2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}),$$

а также ROC-AUC - площадь под ROC-кривой, характеризующая разделяющую способность при всех порогах. Оптимизированная модель LightGBM достигла следующих показателей на тестовой выборке:

Таблица 3 - Результаты тестирования системы на контрольной выборке

| Метрика   | Базовая модель | После оптимизации | Целевое значение |
|-----------|----------------|-------------------|------------------|
| Accuracy  | 0,881          | 0,898             | ≥ 0,850          |
| Precision | 0,884          | 0,902             | ≥ 0,850          |
| Recall    | 0,876          | 0,893             | ≥ 0,830          |
| F1-macro  | 0,880          | 0,897             | ≥ 0,840          |
| ROC-AUC   | 0,943          | 0,956             | ≥ 0,880          |

Байесовская оптимизация гиперпараметров посредством Optuna обеспечила прирост F1-масро на 0,017 по сравнению с базовой конфигурацией. Все показатели существенно превысили установленные минимальные целевые значения. Время инференса составило менее 60 мс на документ, что соответствует требованию реального времени [7].

## 5.2. Апробация на казахстанских новостных материалах

Апробация системы проводилась на 150 реальных казахстанских новостных материалах из пяти тематических категорий, включая материалы Tengrinews.kz, Inform.kz, КазИнформ, а также выявленные фактчекинговыми организациями фейки. Материалы не входили в обучающую выборку [8].

Таблица 4 - Результаты апробации по тематическим категориям

| Тематическая категория | Объём выборки | Ассурасу | Основные ошибки                |
|------------------------|---------------|----------|--------------------------------|
| Экономика и финансы    | 30 текстов    | 0,900    | Сложные финансовые фейки       |
| Здравоохранение        | 30 текстов    | 0,883    | Медицинская псевдонаука        |
| Политика               | 30 текстов    | 0,867    | Пропаганда в нейтральном стиле |
| Наука и технологии     | 30 текстов    | 0,867    | Псевдонаучный контент          |
| Происшествия           | 30 текстов    | 0,850    | Сенсационный стиль достоверных |
| Итого / среднее        | 150 текстов   | 0,877    | -                              |

Наилучшие результаты достигнуты для категории «Экономика и финансы» (Ассурасу = 0,900), наиболее сложной оказалась категория «Происшествия» (Ассурасу = 0,850) ввиду стилистической близости ряда достоверных новостных заметок к сенсационному фейковому контенту. Общая точность апробации Ассурасу = 0,877 превысила установленный порог практической применимости (0,85).

## 5.3. Анализ ошибок классификации

Анализ ошибок выявил два основных типа систематических сбоя: ложные тревоги (43% от общего числа ошибок) - эмоционально окрашенные достоверные новости публицистического стиля, ошибочно классифицируемые как фейки из-за характерной экспрессивной лексики; пропущенные фейки (31%) - профессионально замаскированные материалы, написанные в имитации журналистского стиля без явных маркеров дезинформации. Данные результаты определяют приоритетные направления совершенствования: расширение обучающего датасета в категории «Происшествия» и разработку дополнительных признаков для выявления стилистической имитации [9].

## 6. ОБЪЯСНИМОСТЬ РЕШЕНИЙ И ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

### 6.1. Механизм SHAP-объяснений

Для обеспечения интерпретируемости решений применён механизм SHAP (SHapley Additive exPlanations), основанный на теории кооперативных игр. Для каждого входного текста система генерирует упорядоченный перечень ключевых лингвистических маркеров, обусловивших вердикт, с указанием знака и величины вклада каждого признака. Например, для текста с высокой оценкой вероятности фейка топ-признаками могут являться: наличие

маркера «СРОЧНО», высокий `fake_marker_count`, присутствие конструкции «источники сообщают», высокая доля восклицательных предложений [10].

Объяснимость принципиально важна для практического применения: редакторы, модераторы и исследователи получают не только бинарное решение, но и обоснование, позволяющее верифицировать выводы системы и выявлять её систематические ошибки. Это соответствует требованиям прозрачности, предъявляемым к системам автоматического принятия решений.

## 6.2. Этические ограничения и риски

Разработка и применение систем детектирования дезинформации сопряжена с серьёзными этическими рисками. Предвзятость обучающих данных: если тренировочный датасет содержит несбалансированное представление различных политических взглядов или культур, система будет демонстрировать систематические ошибки. В настоящем исследовании этот риск частично снижен посредством тематической балансировки датасета и привлечения материалов казахстанских фактчекинговых организаций [11].

Угроза цензуры: автоматические системы могут быть использованы для ограничения легитимного контента или инакомыслия. Проблема «гонки вооружений»: с развитием генеративных ИИ-моделей (GPT-4 и аналоги) производство высококачественного синтетического контента становится всё более доступным, что требует регулярного переобучения систем детектирования не реже одного раза в квартал для противодействия концепт-дрейфу. Любая практически применяемая система должна иметь механизм обжалования решений и проходить регулярный независимый аудит.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье представлены результаты разработки и экспериментальной апробации системы автоматического выявления фейковых новостей на основе методов ИИ, ориентированной на русскоязычный контент казахстанского медиапространства.

Предложенный комбинированный метод классификации, объединяющий TF-IDF-векторизацию с биграммками и авторским набором из 12 стилометрических признаков на базе классификатора LightGBM, достиг  $\text{Accuracy} = 0,898$  и  $\text{F1-score} = 0,897$  на тестовой выборке, а также  $\text{Accuracy} = 0,877$  при апробации на 150 реальных казахстанских новостных материалах. Время инференса менее 60 мс без GPU подтверждает практическую применимость решения в режиме реального времени.

Принципиальным научным вкладом является обоснование принципа разумной достаточности при выборе метода классификации: при объёме обучающей выборки до 10 000 примеров в условиях ограниченных вычислительных ресурсов применение TF-IDF + LightGBM обеспечивает качество, практически сопоставимое с тяжёлыми трансформерными архитектурами, при значительно меньших требованиях к инфраструктуре.

Механизм SHAP-объяснений обеспечивает интерпретируемость решений на уровне конкретных лингвистических маркеров, что критически важно для доверия пользователей к системе. SHAP-анализ подтвердил, что авторские стилометрические признаки (`fake_marker_count`, доля восклицательных предложений) входят в топ-20 наиболее значимых из 50 012 признаков модели.

Перспективы дальнейших исследований включают: интеграцию графовых признаков распространения в социальных сетях; расширение языковой поддержки с добавлением казахскоязычного контента; апробацию мультимодальных подходов для анализа изображений. Разработанная система может быть использована редакционными

коллективами новостных изданий, государственными органами мониторинга информационного пространства и исследователями в области медиа и информационной безопасности Казахстана.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суворова А.В., Титов И.В. Фейковые новости как социальный феномен: определение, типология и методы противодействия // Вестник МГУ. Серия 10: Журналистика. - 2020. - № 3. - С. 28–52.
2. Vosoughi S., Roy D., Aral S. The spread of true and false news online // Science. - 2018. - Vol. 359, No. 6380. - P. 1146 - 1151.
3. Allcott H., Gentzkow M. Social media and fake news in the 2016 election // Journal of Economic Perspectives. - 2017. - Vol. 31, No. 2. - P. 211–236.
4. Голубев В.Ю., Смирнов А.Н. Методы машинного обучения для автоматической классификации недостоверного контента в социальных сетях // Информационные технологии. - 2021. - № 4. - С. 14-23.
5. Девлин Дж. и др. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of NAACL-HLT. - 2019. - P. 4171-4186.
6. Романов А.С. Нейросетевые методы обработки естественного языка для задач верификации новостного контента // Программная инженерия. - 2021. - Т. 12, № 5. - С. 232–241.
7. Bian T. et al. Rumor Detection on Social Media with Bi-Directional Graph Convolutional Networks // Proceedings of AAAI. - 2020. - Vol. 34, No. 1. - P. 549–556.
8. Wang W.Y. 'Liar, Liar Pants on Fire': A New Benchmark Dataset for Fake News Detection // Proceedings of ACL. - 2017. - P. 422-426.
9. Сидоров К.Е. Трансформерные языковые модели: от BERT к GPT. - М.: ДМК Пресс, 2022. - 256 с.
10. Зайцев Д.С., Миронова Е.А. Граф-нейронные сети в задачах анализа социальных взаимодействий // Системы и средства информатики. - 2022. - Т. 32, № 1. - С. 4-18.
11. Байжанов А.К., Мусина Р.С. Применение искусственного интеллекта для верификации новостного контента на казахском и русском языках // Известия НАН РК. - 2023. - № 1. - С. 94–103.

# ЭЛЕКТРОНДЫҚ БИЗНЕС ПЕН ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫҢ ҚАЗІРГІ ҚОҒАМДАҒЫ РӨЛІ

**Акжолова А.И.**

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Керімбаева В.Ж.**

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Айтбаева Р.Б.**

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Талпакова Б.Ә.**

Алматы Технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Аңдатпа:** Бұл мақалада электрондық бизнес пен цифрлық экономиканың даму ерекшеліктері, олардың қоғам мен экономикаға әсері қарастырылады. Электрондық коммерцияның негізгі үлгілері, интернет-технологиялардың бизнес саласында қолданылуы, веб-сайттардың маңызы және электрондық сауда жүйелерінің қауіпсіздігі талданады. Сонымен қатар Қазақстандағы цифрландыру саясаты мен цифрлық экономиканың даму бағыттары сипатталады.

**Түйінді сөздер:** электрондық бизнес, цифрлық экономика, интернет-коммерция, веб-сайт, интернет-маркетинг, ақпараттық технология, электрондық сауда.

Қазіргі кезеңде ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың дамуы әлемдік экономиканың барлық саласына үлкен өзгерістер енгізуде. Интернеттің кең таралуы мен цифрлық технологиялардың жетілдірілуі нәтижесінде электрондық бизнес пен цифрлық экономика жаңа деңгейге көтерілді. Әлемдік нарықта электрондық коммерция көлемінің өсуі, онлайн қызметтердің көбеюі және интернет арқылы жүзеге асырылатын қаржылық операциялардың артуы қоғамның цифрлық трансформацияға бет бұрғанын көрсетеді.

Электрондық бизнес – интернет және ақпараттық технологиялар арқылы жүзеге асырылатын коммерциялық қызметтің заманауи түрі. Оның негізгі мақсаты – кәсіпкерлік қызметті тиімді ұйымдастыру, тұтынушыларға ыңғайлы қызмет көрсету және нарық ауқымын кеңейту. Бүгінде электрондық бизнес тек саудамен шектелмей, білім беру, медицина, банк жүйесі, туризм және мемлекеттік басқару салаларында да кеңінен қолданылуда.

Цифрлық экономика ұғымы да соңғы жылдары ерекше маңызға ие болды. Ол ақпараттық технологиялар негізінде экономикалық процестерді ұйымдастыруды білдіреді. Цифрлық экономика өндіріс тиімділігін арттырып, инновациялық даму мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Электрондық бизнес – ақпараттық-коммуникациялық технологиялар көмегімен жүзеге асырылатын экономикалық қызметтің жаңа формасы. Бұл жүйеде барлық негізгі бизнес-процестер интернет арқылы орындалады. Электрондық коммерция тауарлар мен қызметтерді онлайн сату, жарнамалау, төлем қабылдау және клиенттермен байланыс орнату сияқты қызметтерді қамтиды.

Электрондық бизнестің негізгі артықшылықтарының бірі – уақыт пен кеңістік шектеулерінің болмауы. Тұтынушылар интернет арқылы кез келген уақытта қажетті өнімді сатып алып, қызметтерді пайдалана алады. Сонымен қатар кәсіпкерлер үшін де бұл жүйе шығындарды азайтып, бизнесті автоматтандыруға мүмкіндік береді.



Электрондық бизнестің бірнеше негізгі үлгілері бар:

- **B2B (Business to Business)** – кәсіпорындар арасындағы коммерциялық қатынастар;
- **B2C (Business to Consumer)** – бизнес пен тұтынушы арасындағы сауда;
- **C2C (Consumer to Consumer)** – тұтынушылар арасындағы электрондық сауда;
- **C2B (Consumer to Business)** – тұтынушылардың компанияларға қызмет немесе ұсыныс ұсынуы.

Қазіргі таңда B2C үлгісі ең кең таралған бағыттардың бірі болып табылады. Интернет-дүкендер, онлайн маркетплейстер мен жеткізу қызметтері осы модель негізінде жұмыс істейді. Ал B2B моделі кәсіпорындар арасындағы серіктестік қатынастарды жеңілдетіп, келісімшарттар жасау мен тауар жеткізу процестерін автоматтандырады.

Электрондық бизнесті ұйымдастыруда маркетингтің рөлі ерекше. Интернет-маркетинг тұтынушылардың қажеттіліктерін зерттеуге, нарықты талдауға және өнімдерді тиімді жарнамалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар цифрлық технологиялар арқылы клиенттермен кері байланыс орнату оңай жүзеге асырылады.

Цифрлық экономика – ақпараттық технологиялар мен интернет ресурстары негізінде қалыптасатын экономикалық жүйе. Бұл жүйе өндіріс, қызмет көрсету және басқару процестерін автоматтандыруға бағытталған.

Қазақстанда цифрлық экономиканы дамыту мақсатында бірқатар мемлекеттік бағдарламалар жүзеге асырылуда. Соның ішінде «Ақпаратты Қазақстан – 2020» және «Цифрлық Қазақстан» бағдарламалары маңызды рөл атқарады. Бұл бағдарламалардың негізгі мақсаты – мемлекеттік қызметтерді цифрландыру, ақпараттық инфрақұрылымды жетілдіру және халықтың цифрлық сауаттылығын арттыру.

Цифрлық экономиканың негізгі құрамдас бөліктеріне:

- ақпараттық инфрақұрылым;
- электрондық коммерция;
- электрондық банкинг;
- цифрлық қызметтер;
- интернет-маркетинг;
- ақпараттық қауіпсіздік жүйелері жатады.

Цифрлық технологиялар экономиканың көптеген салаларында қолданылады. Мысалы, электрондық банкинг жүйесі арқылы адамдар қаржылық операцияларды онлайн орындай алады. Сонымен қатар қашықтан білім беру жүйелері білім саласының дамуына ықпал етуде.

Цифрлық экономиканың басты артықшылықтары:

- ақпаратты жылдам өңдеу;
- бизнес-процестерді автоматтандыру;
- шығындарды азайту;
- еңбек өнімділігін арттыру;
- халықаралық нарыққа шығу мүмкіндігі;
- инновациялық технологияларды дамыту.

Бүгінде цифрлық экономика тек технологиялық өзгерістермен ғана емес, қоғамның өмір салтымен де тығыз байланысты. Интернет пен мобильді құрылғылардың кең таралуы адамдардың күнделікті қызметін жеңілдетіп, жаңа цифрлық орта қалыптастырды.

Веб-сайттың электрондық бизнестегі маңызы

Веб-сайт – интернеттегі бизнестің негізгі элементтерінің бірі. Ол компанияның виртуалды өкілдігі ретінде қызмет атқарады және тұтынушыларға қажетті ақпарат ұсынады.

Веб-сайттардың негізгі түрлері:

- ақпараттық сайттар;
- интернет-дүкендер;

- корпоративтік порталдар;
- жарнамалық платформалар;
- онлайн қызмет көрсету жүйелері.

Қазіргі таңда интернет-дүкендер электрондық коммерцияның негізгі құралдарының біріне айналды. Интернет-дүкен арқылы тұтынушы өнімді таңдап, онлайн тапсырыс беріп, төлем жасап, жеткізу қызметін пайдалана алады.

Веб-сайтты әзірлеу барысында интерфейстің қарапайым әрі ыңғайлы болуы маңызды. Себебі сайттың құрылымы мен дизайны клиенттердің қызығушылығына тікелей әсер етеді. Сонымен қатар веб-сайттың жылдам жұмыс істеуі, мобильді құрылғыларға бейімделуі және ақпараттың қолжетімділігі де үлкен маңызға ие.

Веб-сайттарды танымал етуде интернет-жарнама маңызды рөл атқарады. Баннерлік жарнама, іздеу жүйелері арқылы жарнамалау, электрондық пошта маркетингі және әлеуметтік желілердегі жарнама қазіргі бизнестің негізгі маркетинг құралдарына айналды.

Интернет-жарнаманың артықшылықтары:

- мақсатты аудиторияны нақты анықтау;
- жарнама нәтижесін жедел талдау;
- шығындардың салыстырмалы түрде төмен болуы;
- аудиториямен тікелей байланыс орнату мүмкіндігі.

Электрондық сауда жүйелеріндегі қауіпсіздік

Электрондық коммерцияның дамуы ақпараттық қауіпсіздік мәселелерінің өзектілігін арттырды. Интернет арқылы жүзеге асырылатын қаржылық операциялар мен жеке мәліметтердің қорғалуы электрондық бизнестің сенімділігіне тікелей әсер етеді.

Ақпараттық қауіпсіздіктің негізгі міндеттері:

- ақпараттың құпиялылығын сақтау;
- мәліметтердің тұтастығын қамтамасыз ету;
- ақпаратқа қолжетімділікті қорғау;
- электрондық төлемдердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

Электрондық сауда жүйелерінде шифрлау технологиялары, электрондық цифрлық қолтаңба және арнайы қауіпсіздік жүйелері қолданылады. Бұл технологиялар пайдаланушылардың жеке мәліметтерін қорғауға және қаржылық операциялардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар интернет-дүкендер мен электрондық төлем жүйелерінде қауіпсіздік стандарттарын сақтау маңызды. Себебі ақпараттың заңсыз таралуы немесе бұрмалануы тұтынушылар мен кәсіпорындарға үлкен шығын келтіруі мүмкін.

Қорыта айтқанда, электрондық бизнес пен цифрлық экономика қазіргі қоғам дамуының маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Ақпараттық технологиялардың дамуы кәсіпкерлік қызметтің жаңа мүмкіндіктерін қалыптастырып, экономиканың тиімділігін арттыруда.

Электрондық коммерция тұтынушыларға ыңғайлы қызмет көрсетуге, кәсіпорындардың шығындарын азайтуға және халықаралық нарыққа шығуға мүмкіндік береді. Ал цифрлық экономика өндіріс пен басқару жүйелерін жетілдіріп, инновациялық технологияларды енгізуге жағдай жасайды.

Қазақстанда жүзеге асырылып жатқан цифрландыру бағдарламалары елдің экономикалық әлеуетін арттыруға ықпал етуде. Болашақта цифрлық технологиялардың дамуы жаңа кәсіп түрлерінің пайда болуына, еңбек өнімділігінің артуына және қоғамның өмір сүру сапасының жақсаруына мүмкіндік береді.

Сондықтан электрондық бизнес, интернет-коммерция және цифрлық экономиканы дамыту қазіргі заманның маңызды ғылыми және тәжірибелік міндеттерінің бірі болып табылады.

Пайдаланылган әдебиеттер

1. Электронная коммерция :учебник и практикум для вузов / Л. П. Гаврилов. — 4-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2022.
2. Электронная коммерци: учебник / Л.К. Брагин., Г.Г. Иванов., А.Ф. Никишин. - Москва : Издательство Дом ФОРУМ, 2022.
3. Основы электронной коммерции: учебник для вузов / А.В.Юрасов. - Москва : Издательство Дом ФОРУМ, 2022.
4. Цифровая экономика: Электронный бизнес и электронная коммерция учебное пособие:/ СкотовиковА.Г. - Москва : Издательство "Лань" 2019г.
5. Цифровая экономика: Учебно-методический комплекс /Г. Головенчик. — Минск: БГУ, 2020.

# DÖVLƏTİN KİBERSUVERENLİYİ: NƏZƏRİ ƏSASLAR, RİSKLƏR VƏ İDARƏETMƏ MƏXANİZMLƏRİ

**Mahmud Mirzəzadə Müşfiq**

Magistrant , Azərbaycan Texniki Universiteti

**Fəhmin Hüseynov Ceyhun**

Magistrant , Azərbaycan Texniki Universiteti

**Fuad Məcidzadə Elçin**

Magistrant , Azərbaycan Texniki Universiteti

## XÜLASƏ

Müasir dövrdə dövlət suverenliyi yalnız fiziki sərhədlər, siyasi hakimiyyət və ərazi bütövlüyü ilə məhdudlaşmır. Rəqəmsallaşma, məlumat axınlarının sərhədlərarası xarakter alması, bulud texnologiyaları, süni intellekt əsaslı sistemlər, sosial media platformaları və kritik informasiya infrastrukturalarının genişlənməsi dövlət suverenliyinin yeni formasını — kibersuverenliyi ön plana çıxarmışdır. Kibersuverenlik dövlətin rəqəmsal məkan, informasiya resursları, elektron xidmətlər, kritik infrastruktur və məlumat idarəçiliyi üzərində effektiv nəzarət və müdafiə imkanlarını ifadə edir. Kibersuverenlik anlayışı yalnız texniki təhlükəsizlik məsələsi deyil. O, hüquqi tənzimləmə, institusional koordinasiya, informasiya təhlükəsizliyi, beynəlxalq əməkdaşlıq, rəqəmsal platformaların idarə olunması və risklərin qabaqlayıcı şəkildə qiymətləndirilməsi ilə bağlı kompleks idarəetmə sahəsidir. Dövlət rəqəmsal mühitdə öz məlumatlarını, vətəndaşların fərdi informasiyasını, dövlət sirrini, maliyyə sistemlərini, enerji və nəqliyyat infrastrukturunu qorumaq gücünə malik deyilsə, onun ənənəvi suverenliyi də rəqəmsal təzyiqlər qarşısında zəifləyə bilər. Məqalədə dövlətin kibersuverenliyi anlayışının nəzəri əsasları, rəqəmsallaşma şəraitində suverenliyin transformasiyası, kibersuverenliyə qarşı əsas təhlükələr, hüquqi-normativ mexanizmlər, arxitektura prinsiplər və risklərin qiymətləndirilməsi məsələləri geniş təhlil olunur. Araşdırma göstərir ki, kibersuverenliyin təmin olunması üçün yalnız kiberhücumlara qarşı müdafiə sistemləri kifayət deyil; bunun üçün milli strategiya, hüquqi baza, insan kapitalı, yerli texnoloji imkanlar, beynəlxalq əməkdaşlıq, risk əsaslı idarəetmə modeli və davamlı monitoring sistemi birlikdə fəaliyyət göstərməlidir.

**Açar sözlər:** kibersuverenlik, rəqəmsal suverenlik, informasiya təhlükəsizliyi, kibertəhlükəsizlik, kritik informasiya infrastruktur, risklərin qiymətləndirilməsi, dövlət idarəçiliyi, rəqəmsal transformasiya

## GİRİŞ

Rəqəmsal texnologiyalar müasir dövlət idarəçiliyinin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Elektron hökumət xidmətləri, rəqəmsal bankçılıq, onlayn təhsil, elektron səhiyyə, bulud əsaslı məlumat bazaları və kritik infrastruktur sistemləri artıq dövlətin gündəlik fəaliyyətinin əsas dayaqlarındanır. Bu proses dövlətlərə idarəetməni sürətləndirmək, vətəndaş xidmətlərini asanlaşdırmaq və iqtisadi effektivliyi artırmaq imkanı yaratsa da, eyni zamanda yeni təhlükəsizlik problemləri də meydana çıxarır. Artıq dövlət üçün təhlükə yalnız sərhəddə və ya fiziki məkanda yaranmır; təhlükə serverlərdə, məlumat bazalarında, şəbəkələrdə, sosial media platformalarında və bulud sistemlərində də formalaşa bilər. Ənənəvi suverenlik anlayışı dövlətin ərazi bütövlüyü, daxili işlərə müdaxilənin yolverilməzliyi və siyasi hakimiyyətin müstəqilliyi üzərində qurulmuşdu. Lakin müasir rəqəmsal mühitdə dövlətin yalnız fiziki əraziyə nəzarət etməsi kifayət etmir. Dövlət

həm də məlumat axınlarına, kritik informasiya infrastrukturalarına, rəqəmsal platformalara, elektron xidmətlərə və kiberməkanda baş verən proseslərə nəzarət etməlidir. Əks halda, xarici aktorlar, transmilli texnologiya şirkətləri, kiber cinayətkar qruplar və dezinformasiya şəbəkələri dövlətin qərarvermə proseslərinə dolayı və ya birbaşa təsir göstərə bilər [1].

Kibersuverenlik məhz bu ehtiyacdən yaranan anlayışdır. Bu anlayış dövlətin rəqəmsal mühitdə öz müstəqilliyini, məlumat təhlükəsizliyini və idarəetmə qabiliyyətini qoruması deməkdir. Kibersuverenlik yalnız “kiberhücumlardan qorunmaq” kimi dar mənada başa düşülməməlidir. Bu, dövlətin öz rəqəmsal infrastrukturunu üzərində hüquqi, texniki, institusional və strateji nəzarətini təmin etməsi ilə bağlı daha geniş bir konsepsiyadır. ITU-nun Qlobal Kibertəhlükəsizlik İndeksində də kibertəhlükəsizlik səviyyəsi hüquqi, texniki, təşkilati, potensialın inkişafı və əməkdaşlıq tədbirləri üzrə qiymətləndirilir ki, bu yanaşma kibersuverenliyin çoxsəviyyəli xarakterini göstərir [2]. Bu mövzunun aktuallığı həm də kiberhücumların xarakterinin dəyişməsi ilə bağlıdır. Müasir hücumlar artıq yalnız fərdi kompüterlərə və ya şəxsi hesablara yönəlmir. Dövlət qurumları, enerji sistemləri, bank sektoru, nəqliyyat şəbəkələri, səhiyyə infrastrukturunu və informasiya platformaları əsas hədəflərə çevrilmişdir. ENISA-nın 2024-cü il təhlükə mənzərəsinə görə mövcud kibertəhlükələr içərisində əlçatanlığa qarşı hücumlar, ransomware və məlumatlara qarşı təhdidlər xüsusi yer tutur [3].

### **1. Kibersuverenlik anlayışının mahiyyəti**

Kibersuverenlik dövlətin kiberməkanda öz hüquqi, siyasi və texniki səlahiyyətlərini həyata keçirmək imkanını ifadə edir. Bu anlayışa görə, dövlət öz ərazisində yerləşən informasiya infrastrukturuları, məlumat bazaları, elektron xidmətlər və rəqəmsal platformalar üzərində qanuni nəzarət mexanizmlərinə malik olmalıdır. Burada əsas məsələ yalnız serverlərin fiziki olaraq harada yerləşməsi deyil, həm də məlumatların kim tərəfindən idarə olunması, hansı hüquqi rejimə tabe olması və hansı təhlükəsizlik mexanizmləri ilə qorunmasıdır. Kibersuverenlik klassik suverenliyin rəqəmsal dövrə uyğunlaşmış forması kimi izah oluna bilər. Əgər ənənəvi suverenlik dövlətin quru, hava və dəniz məkanında öz hakimiyyətini həyata keçirməsini nəzərdə tuturdusa, kibersuverenlik bu hakimiyyətin informasiya məkanı və rəqəmsal infrastruktur üzərində də tətbiqini zəruri edir. Bu mənada kibersuverenlik fiziki əraziyə bağlı olsa da, onun təsir dairəsi fiziki sərhədləri aşır. Çünki məlumatlar saniyələr içində bir ölkədən digərinə ötürülə, bulud sistemlərində saxlanıla və müxtəlif xarici platformalar tərəfindən emal oluna bilər [4]. Bu anlayışın mühüm tərəfi ondan ibarətdir ki, kibersuverenlik yalnız dövlətin “nəzarət etmək” istəyindən ibarət deyil. Onun əsas məqsədi vətəndaşların fərdi məlumatlarını, dövlətin kritik xidmətlərini, ictimai etimadı, milli təhlükəsizliyi və iqtisadi sabitliyi qorumaqdır. Buna görə də kibersuverenlik demokratik hüquqlar, məlumat azadlığı və informasiya təhlükəsizliyi arasında balans tələb edir. Dövlət rəqəmsal mühitdə təhlükəsizliyi təmin edərkən hüquq və azadlıqları məhdudlaşdırmamalı, eyni zamanda rəqəmsal xaos və xarici manipulyasiya risklərinə də şərait yaratmamalıdır [1].

**Cədvəl 1. Kibersuverenliyin əsas məzmun komponentləri**

| Komponent                 | Qısa izah                                                                        | Dövlət üçün əhəmiyyəti                                                    |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Məlumat suverenliyi       | Dövlətə və vətəndaşlara aid məlumatların təhlükəsiz saxlanması və idarə olunması | Fərdi məlumatların, dövlət sirrinin və strateji informasiyanın qorunması  |
| İnfrastruktur suverenliyi | Kritik informasiya infrastrukturlarının qorunması                                | Enerji, nəqliyyat, bank, səhiyyə və dövlət xidmətlərinin davamlılığı      |
| Hüquqi suverenlik         | Kiberməkanda hüquqi qaydaların müəyyən edilməsi                                  | Kiberhücumlara, məlumat sızmasına və rəqəmsal cinayətlərə hüquqi reaksiya |
| Texnoloji suverenlik      | Yerli və etibarlı texnoloji imkanların inkişafı                                  | Xarici texnoloji asılılığın azaldılması                                   |
| İnstitusional suverenlik  | Dövlət qurumları arasında koordinasiyanın qurulması                              | Risqlərin idarə olunması və operativ qərarvermə                           |
| İnformasiya suverenliyi   | Dezinformasiya və manipulyasiya ilə mübarizə                                     | İctimai etimadın və milli informasiya mühitinin qorunması                 |
| Beynəlxalq əməkdaşlıq     | Kiberməkanda dövlətlərarası qaydaların və əməkdaşlığın qurulması                 | Transsərhəd kiberhücumlara qarşı birgə mübarizə                           |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [2], [4] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, kibersuverenlik çoxkomponentli anlayışdır. Onu yalnız informasiya təhlükəsizliyi və ya yalnız hüquqi tənzimləmə ilə məhdudlaşdırmaq düzgün deyil. Əgər dövlətin hüquqi bazası güclüdür, amma texniki infrastrukturunu zəifdirsə, kibersuverenlik tam təmin olunmur. Eyni şəkildə, texnoloji imkanlar inkişaf etmiş olsa da, qurumlar arasında koordinasiya yoxdursa, kiber böhran zamanı effektiv reaksiya mümkün olmur.

Kibersuverenliyin əsas xüsusiyyəti onun davamlı proses olmasıdır. Bu sahədə bir dəfə qanun qəbul etmək və ya bir neçə texniki sistem qurmaq kifayət deyil. Kiberhücum metodları dəyişdikcə, texnologiyalar yeniləndikcə, məlumat axınları genişləndikcə dövlətin müdafiə və idarəetmə mexanizmləri də mütəmadi yenilənməlidir. Bu səbəbdən kibersuverenlik statik vəziyyət deyil, davamlı adaptasiya tələb edən idarəetmə modelidir [5].

## **2. Rəqəmsallaşma şəraitində dövlət suverenliyinin transformasiyası**

Rəqəmsallaşma dövlət suverenliyinin mahiyyətini dəyişdirən əsas amillərdən biridir. Əvvəllər dövlətin əsas nəzarət sahəsi fiziki məkan idi. İndi isə dövlət məlumat axınları, serverlər, proqram təminatları, platformalar, süni intellekt sistemləri və rəqəmsal identifikasiya mexanizmləri üzərində də nəzarət imkanlarına malik olmalıdır. Bu, suverenliyin zəifləməsi deyil, onun yeni şəraitə uyğun yenidən formalaşmasıdır.

Rəqəmsal mühitdə əsas problemlərdən biri məlumatların sərhədlərarası hərəkətidir. Vətəndaşın fərdi məlumatı bir ölkədə toplanıb başqa ölkədəki serverdə saxlanıla, üçüncü ölkədə yerləşən şirkət tərəfindən emal oluna bilər. Bu halda həmin məlumatın hansı ölkənin qanunvericiliyinə tabe olması, kim tərəfindən qorunması və pozuntu baş verdikdə məsuliyyətin necə müəyyənləşdirilməsi mürəkkəb məsələyə çevrilir. Buna görə də məlumat suverenliyi kibersuverenliyin əsas elementlərindən biri kimi çıxış edir.

Digər mühüm məsələ rəqəmsal platformaların təsir gücüdür. Sosial media şəbəkələri, axtarış sistemləri, bulud xidmətləri və elektron ticarət platformaları bəzən dövlətlərin informasiya məkanı üzərində ciddi təsir imkanına malik olur. Bu platformalar ictimai rəyin formalaşmasına, siyasi kommunikasiya proseslərinə, iqtisadi davranışlara və informasiya axınlarına təsir göstərə bilər. Bu səbəbdən dövlətin rəqəmsal suverenliyi yalnız texniki müdafiə ilə deyil, həm də platforma tənzimlənməsi və informasiya siyasəti ilə bağlıdır [6].

Cədvəl 2. Rəqəmsallaşmanın dövlət suverenliyinə təsir istiqamətləri

| Təsir istiqaməti                       | Yaranan problem                                                   | Kibersuverenlik baxımından nəticə                              |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Məlumatların sərhədlərarası axını      | Məlumatın hansı yurisdiksiyaya tabe olması qeyri-müəyyənləşir     | Məlumat suverenliyi və hüquqi uyğunlaşma zəruri olur           |
| Bulud texnologiyaları                  | Dövlət məlumatları xarici infrastrukturda saxlanıla bilər         | Texnoloji və hüquqi asılılıq riski yaranır                     |
| Sosial media platformaları             | İctimai rəy xarici platformalar vasitəsilə yönləndirilə bilər     | Informasiya suverenliyi zəifləyə bilər                         |
| Süni intellekt sistemləri              | Qərarvermə proseslərində alqoritmik asılılıq yaranır              | Şəffaflıq və hesabatlılıq problemi meydana çıxır               |
| Kritik infrastrukturun rəqəmsallaşması | Enerji, nəqliyyat və bank sistemləri kiberhücum hədəfinə çevrilir | Milli təhlükəsizlik riski artır                                |
| Elektron hökumət xidmətləri            | Dövlət xidmətlərinin dayanması ictimai narazılıq yarada bilər     | Rəqəmsal dayanıqlılıq vacib olur                               |
| Transmilli texnologiya şirkətləri      | Dövlətin tənzimləmə imkanları məhdudlaşa bilər                    | Platforma idarəçiliyi və hüquqi mexanizmlər gücləndirilməlidir |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [3], [5], [6] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 2 göstərir ki, rəqəmsallaşma dövlətə yeni imkanlarla yanaşı yeni asılılıqlar da yaradır. Elektron xidmətlər idarəetməni sürətləndirir, lakin bu xidmətlərin təhlükəsizliyi təmin olunmadıqda dövlət xidmətləri dayana bilər. Bulud texnologiyaları xərcləri azalda və çevikliyi artırır, lakin məlumatların xarici sistemlərdə saxlanması hüquqi və təhlükəsizlik baxımından risk yaradır. Burada ən təhlükəli yanaşma rəqəmsallaşmanı yalnız texniki modernləşmə kimi görməkdir. Əslində rəqəmsal transformasiya dövlət idarəçiliyinin mahiyyətini dəyişdirir. Dövlət artıq yalnız qanun qəbul edən və xidmət göstərən qurum deyil, həm də məlumat idarə edən, alqoritmik prosesləri tənzimləyən, kritik rəqəmsal infrastrukturunu qoruyan və informasiya manipulyasiyalarına qarşı dayanıqlı sistem quran aktora çevrilir [7]. Azərbaycan kontekstində də bu məsələ aktualdır. “Azərbaycan Respublikasının informasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükəsizliyə dair 2023–2027-ci illər üçün Strategiyası” milli informasiya təhlükəsizliyinin yüksəldilməsi, dövlət və özəl şəbəkələrin, kritik informasiya infrastrukturlarının təhlükəsizliyinin təmin olunması və fərdi məlumatların mühafizəsi kimi istiqamətləri əhatə edir [8]. Bu, kibersuverenliyin yalnız nəzəri məsələ deyil, praktiki dövlət siyasəti istiqaməti olduğunu göstərir.

### 3. Kibersuverenliyə qarşı əsas təhlükələr

Kibersuverenliyə qarşı təhlükələr çoxşaxəlidir. Bu təhlükələr texniki, hüquqi, siyasi, sosial və iqtisadi xarakter daşıya bilər. Ənənəvi təhlükəsizlik yanaşmasında hücumun mənbəyini və istiqamətini müəyyən etmək nisbətən asan idi. Kiberməkanda isə hücumlar gizli, sürətli, çoxmənbəli və sərhədsiz xarakter daşıyır. Hücumçu bir ölkədə ola, server başqa ölkədə yerləşə, zərər isə üçüncü ölkənin dövlət sistemlərinə dəyə bilər.

Əsas risklərdən biri kritik informasiya infrastrukturuna qarşı hücumlardır. Enerji şəbəkələri, su təchizatı, nəqliyyat idarəetməsi, bank-maliyyə sistemləri, səhiyyə məlumat bazaları və dövlət portalları kiberhücumlara məruz qaldıqda bunun nəticəsi yalnız texniki nasazlıq olmur. Bu cür hücumlar dövlət xidmətlərinin dayanmasına, iqtisadi itkilərə, ictimai etimadın azalmasına və milli təhlükəsizlik boşluqlarına səbəb ola bilər. Ransomware hücumları da kibersuverenlik baxımından ciddi təhlükədir. Bu hücumlarda məlumatlar şifrələnir və onların bərpası üçün ödəniş tələb olunur. Əgər belə hücum dövlət qurumlarına, xəstəxanalara, enerji sistemlərinə və ya kritik məlumat bazalarına qarşı həyata keçirilirsə, nəticə yalnız maliyyə itkisi ilə məhdudlaşmır. Dövlətin xidmət



göstərmə qabiliyyəti, vətəndaşların təhlükəsizliyi və ictimai etimad da zərər görür. ENISA 2024 hesabatında ransomware əsas təhlükə kateqoriyalarından biri kimi göstərilir [3].

**Cədvəl 3. Dövlətin kibersuverenliyinə qarşı əsas təhlükələr**

| Təhlükə növü                        | Mahiyəti                                                | Dövlət üçün mümkün nəticə                         | Risk səviyyəsi |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|
| Kritik infrastruktura kiberhücum    | Enerji, nəqliyyat, bank və dövlət sistemlərinə müdaxilə | Xidmətlərin dayanması, milli təhlükəsizlik riski  | Kritik         |
| Ransomware                          | Məlumatların şifrələnməsi və ödəniş tələb edilməsi      | Dövlət xidmətlərinin iflic olması, maliyyə itkisi | Kritik         |
| Məlumat sızması                     | Fərdi, dövlət və kommersiya məlumatlarının yayılması    | Etimad itkisi, hüquqi məsuliyyət, siyasi risk     | Yüksək         |
| DDoS hücumları                      | Server və xidmətlərin həddindən artıq yüklənməsi        | Elektron xidmətlərin əlçatmaz olması              | Yüksək         |
| Təchizat zənciri zəiflikləri        | Program və texnoloji təchizatçılar üzərindən hücum      | Gizli giriş, sistemli komprometasiya              | Kritik         |
| Dezinformasiya kampaniyaları        | Yanlış və manipulyativ məlumatların yayılması           | İctimai rəyin pozulması, sosial gərginlik         | Kritik         |
| Daxili istifadəçi riski             | Səlahiyyətli şəxslərin səhvi və ya qəsdən zərəri        | Məlumat itkisi, icazəsiz giriş                    | Yüksək         |
| Bulud və xarici platforma asılılığı | Xarici infrastrukturadan həddindən artıq istifadə       | Hüquqi və texnoloji asılılıq                      | Yüksək         |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [3] və tədqiqat materialında verilən risk qruplaşdırması əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 3-dən görünür ki, kibersuverenlik üçün ən təhlükəli risklər yalnız texniki sistemləri deyil, dövlətin idarəetmə sabitliyini və ictimai etimadı da hədəfə alır. Məsələn, DDoS hücumu texniki baxımdan serverin yüklənməsi kimi görünə bilər, lakin dövlət portalı günlərlə işləmədikdə vətəndaşların xidmətlərə çıxışı məhdudlaşır. Bu isə inzibati və sosial problemə çevrilir. Dezinformasiya kibersuverenlik baxımından ayrıca diqqət tələb edir. Çünki bu təhlükə birbaşa serverləri dağıtmaya bilər, amma insanların dövlətə, seçkilərə, səhiyyə sistemində, təhlükəsizlik qurumlarına və ya iqtisadi siyasətə inamını zəiflədə bilər. Müasir informasiya müharibələrində sosial media platformaları, bot şəbəkələri, saxta xəbər saytları və süni intellektlə yaradılmış məzmunlar ciddi təsir alətinə çevrilmişdir [9]. Təchizat zənciri zəiflikləri də getdikcə daha ciddi problemə çevrilir. Dövlət qurumları çox vaxt program təminatı, avadanlıq, bulud xidməti və texniki dəstək üçün müxtəlif şirkətlərdən asılı olur. Əgər bu təchizatçılardan birində zəiflik varsa, hücumçu həmin zəiflikdən istifadə edərək dövlət sistemlərinə dolayı yolla daxil ola bilər. Bu səbəbdən kibersuverenlik yalnız dövlətin öz sistemlərini deyil, onun əməkdaşlıq etdiyi texnoloji ekosistemi də əhatə etməlidir.

#### 4. Hüquqi-normativ mexanizmlərin rolu

Kibersuverenliyin təmin olunmasında hüquqi baza xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Texniki müdafiə sistemləri nə qədər güclü olsa da, hüquqi mexanizmlər aydın deyilsə, kiberməkanda məsuliyyətin müəyyənləşdirilməsi çətinləşir. Kiberhücum zamanı kimin məsuliyyət daşdığı, məlumat sızmasına görə hansı cəzanın tətbiq ediləcəyi, kritik infrastruktur operatorlarının hansı öhdəliklərə malik olduğu və transsərhəd hadisələrdə hansı əməkdaşlıq mexanizmlərinin işləyəcəyi qanunvericiliklə müəyyən edilməlidir. Hüquqi mexanizmlər yalnız cəza tədbirlərindən ibarət olmamalıdır. Onlar həm də qabaqçılıq tənzimləmə funksiyası daşımalıdır. Məsələn, kritik informasiya infrastrukturunu operatorları üçün məcburi təhlükəsizlik standartları, insidentlərin bildirilməsi qaydaları, audit mexanizmləri, məlumatların qorunması tələbləri və risk

qiymətləndirmə prosedurları hüquqi çərçivədə müəyyənləşdirilməlidir. Avropa İttifaqının NIS2 Direktivi də kritik sektorlar üzrə vahid kibertəhlükəsizlik çərçivəsi yaratmaq, milli strategiyalar və transsərhəd əməkdaşlığı gücləndirmək məqsədi daşıyır [10]. Kibersuverenlik üçün beynəlxalq hüquq da vacibdir. Çünki kiberməkanda hücumlar çox vaxt bir ölkənin sərhədləri daxilində qalır. BMT çərçivəsində informasiya və kommunikasiya texnologiyalarından təhlükəsiz istifadə üzrə aparılan müzakirələr kiberməkanda dövlət davranışı, əməkdaşlıq və məsuliyyət məsələlərinin beynəlxalq gündəmdə olduğunu göstərir [11]. Bu baxımdan dövlətin yalnız milli qanunvericiliyi deyil, beynəlxalq əməkdaşlıq mexanizmləri də kibersuverenliyin qorunmasında mühüm rol oynayır.

**Cədvəl 4. Kibersuverenliyin hüquqi və institusional təminat mexanizmləri**

| Mexanizm                                            | Əsas məqsəd                                         | Praktiki tətbiq sahəsi                              |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Milli kibertəhlükəsizlik strategiyası               | Dövlət səviyyəsində prioritetlərin müəyyən edilməsi | Strategiya, tədbirlər planı, koordinasiya           |
| Kritik informasiya infrastrukturuna qanunvericiliyi | Strateji sistemlərin qorunması                      | Enerji, bank, nəqliyyat, səhiyyə, dövlət xidmətləri |
| Fərdi məlumatların mühafizəsi qaydaları             | Vətəndaş məlumatlarının qorunması                   | Dövlət və özəl məlumat bazaları                     |
| İnsidentlərin bildirilməsi mexanizmi                | Hücumlara vaxtında reaksiya                         | CERT/SOC sistemləri, operator hesabatları           |
| Kiber cinayətkarlıqla mübarizə normaları            | Hüquqi məsuliyyətin müəyyən edilməsi                | Cinayət təqibi, sübutların toplanması               |
| Dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı                      | Resurs və informasiya paylaşımı                     | Kritik sektor operatorları, texnologiya şirkətləri  |
| Beynəlxalq hüquqi əməkdaşlıq                        | Transsərhəd hücumların araşdırılması                | Məlumat mübadiləsi, qarşılıqlı hüquqi yardım        |
| Audit və uyğunluq tələbləri                         | Təhlükəsizlik səviyyəsinin yoxlanılması             | ISO/IEC 27001, milli standartlar, yoxlamalar        |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [2], [8], [10], [11] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 4 göstərir ki, hüquqi təminat sistemi yalnız normativ sənədlərin qəbulundan ibarət deyil. Bu sistemin işləməsi üçün icra mexanizmləri, məsul qurumlar, audit prosedurları və hesabatlılıq qaydaları olmalıdır. Əgər qanun var, amma icra mexanizmi zəifdirsə, kibersuverenlik kağız üzərində qalır. İnstitusional koordinasiya da hüquqi baza qədər vacibdir. Kiber hadisələr zamanı rabitə, təhlükəsizlik, hüquq-mühafizə, maliyyə, energetika və digər qurumların birgə fəaliyyəti tələb olunur. Əgər bu qurumlar arasında məlumat mübadiləsi zəifdirsə, hücumun miqyası böyüyə bilər. Ona görə də milli səviyyədə vahid koordinasiya mexanizmi, insidentlərə reaksiya protokolları və sektorlararası əməkdaşlıq sistemi qurulmalıdır [12]. Azərbaycanın 2023–2027-ci illər üzrə informasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükəsizlik strategiyası bu baxımdan mühüm çərçivə sənədi kimi qiymətləndirilə bilər. Strategiyada dövlətin, cəmiyyətin və insanların müasir İKT-dən təhlükəsiz istifadəsi, kritik informasiya infrastrukturalarının mühafizəsi və fərdi məlumatların qorunması kimi istiqamətlər öz əksini tapır [8].

## 5. Kibersuverenliyin arxitektura prinsipləri

Kibersuverenliyin effektiv təmin olunması üçün onu sistemli arxitektura kimi qurmaq lazımdır. Bu arxitektura texniki müdafiə vasitələri, hüquqi mexanizmlər, təşkilati idarəetmə, insan resursları, məlumat idarəçiliyi və beynəlxalq əməkdaşlıq elementlərini birləşdirməlidir. Əks halda kibersuverenlik parçalanmış tədbirlər toplusuna çevrilər və real böhran zamanı lazımi nəticə verməz. Bu arxitekturanın əsas prinsiplərindən biri çoxsəviyyəli müdafiədir. Yəni dövlət yalnız bir müdafiə qatına güvənməməlidir. Şəbəkə təhlükəsizliyi, tətbiq təhlükəsizliyi, məlumat şifrələnməsi, istifadəçi identifikasiyası, monitoring, ehtiyat nüsxələmə, insidentlərə reaksiya və bərpa planları

birlikdə işləməlidir. Bir qat zəiflədikdə digər qat hücumun qarşısını almağa və ya zərəri azaltmağa imkan verməlidir. Digər prinsip davamlılıqdır. Kibersuverenlik yalnız hücumun qarşısını almaq deyil, hücum baş verdikdən sonra sistemin fəaliyyətini bərpa etmək qabiliyyətidir. Dövlət xidmətləri, enerji sistemləri, bank əməliyyatları və səhiyyə məlumat bazaları hücumdan sonra qısa müddətdə bərpa oluna bilmirsə, ən güclü müdafiə sistemi belə yetərli sayılmır. Buna görə də kibersuverenlik arxitekturasında “dayanıqlılıq” və “bərpa qabiliyyəti” ayrıca yer tutmalıdır [13].

**Cədvəl 5. Kibersuverenlik arxitekturasının əsas səviyyələri**

| Səviyyə                         | Əsas elementlər                                            | Gözlənilən nəticə                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Strateji səviyyə                | Milli strategiya, təhlükəsizlik konsepsiyası, prioritetlər | Dövlət səviyyəsində vahid istiqamət formalaşır       |
| Hüquqi səviyyə                  | Qanunlar, standartlar, məsuliyyət mexanizmləri             | Rəqəmsal mühitdə hüquqi nizam təmin olunur           |
| İnstitusional səviyyə           | CERT, SOC, tənzimləyici qurumlar, sektor koordinatorları   | Hadisələrə operativ və əlaqəli reaksiya verilir      |
| Texniki səviyyə                 | Firewall, IDS/IPS, SIEM, şifrələmə, ehtiyat nüsxələr       | Sistemlərin müdafiəsi və monitorinqi güclənir        |
| Məlumat idarəçiliyi səviyyəsi   | Məlumat təsnifatı, lokalizasiya, giriş hüquqları           | Məlumatların məxfiliyi və bütövlüyü qorunur          |
| İnsan kapitalı səviyyəsi        | Təlim, sertifikatıya, təhlükəsizlik mədəniyyəti            | İnsan səhvləri və sosial mühəndislik riskləri azalır |
| Beynəlxalq əməkdaşlıq səviyyəsi | Məlumat mübadiləsi, birgə təlimlər, hüquqi yardım          | Transsərhəd risklərə qarşı müqavimət artır           |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [2], [7], [13] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 5 göstərir ki, kibersuverenlik yalnız texniki mütəxəssislərin işi deyil. Bu sahə hüquqşünasların, dövlət idarəçilərinin, təhlükəsizlik mütəxəssislərinin, iqtisadçıların, təhsil qurumlarının və özəl sektorun birgə fəaliyyətini tələb edir. Əgər insan kapitalı zəifdirsə, ən bahalı texnologiya belə düzgün istifadə olunmaya bilər. Əgər hüquqi baza zəifdirsə, texniki sübutlar məhkəmə və inzibati proseslərdə effektiv tətbiq olunmaya bilər.

Arxitekturanın daha bir vacib elementi məlumatların təsnifatıdır. Dövlət bütün məlumatlara eyni səviyyədə yanaşmamalıdır. Açıq məlumatlar, məhdud istifadə üçün məlumatlar, fərdi məlumatlar, kommersiya sirri, dövlət sirri və kritik sistem məlumatları fərqli təhlükəsizlik rejimlərinə malik olmalıdır. Belə yanaşma resursların düzgün bölüşdürülməsinə və yüksək riskli məlumatların daha ciddi qorunmasına imkan verir.

Beynəlxalq standartlar da burada mühüm rol oynayır. ISO/IEC 27001 kimi informasiya təhlükəsizliyi idarəetmə standartları təşkilatlara risk əsaslı təhlükəsizlik sistemi qurmaq üçün metodoloji baza verir. Bu standartlar kibersuverenliyin milli səviyyədə qurulmasında birbaşa dövlət siyasəti sənədi olmasa da, təşkilati təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşmasına ciddi töhfə verir [7].

## 6. Risk əsaslı idarəetmə yanaşması

Kibersuverenlik sahəsində bütün riskləri eyni anda və eyni səviyyədə aradan qaldırmaq mümkün deyil. Buna görə də dövlətlər və təşkilatlar risk əsaslı yanaşmadan istifadə etməlidirlər. Bu yanaşma təhlükələrin ehtimalını, təsir səviyyəsini, sistemlərin zəifliklərini, məruzqalma dərəcəsini, aşkarlama və bərpa imkanlarını nəzərə alaraq prioritetləri müəyyənləşdirir. Risk əsaslı yanaşmanın üstünlüyü ondadır ki, resurslar daha düzgün istiqamətləndirilir. Məsələn, az təsirli və nadir baş verən risklə kritik infrastrukturunu dayandıra biləcək risk eyni səviyyədə idarə olunmamalıdır. Dövlət üçün ən önəmli məsələ yüksək təsirli və yüksək ehtimallı riskləri müəyyən etmək, onların qarşısını almaq və mümkün zərəri azaltmaqdır. Sənin təqdim etdiyin işdə Kibersuverenlik Risk İndeksi Modelinin təklif olunması bu baxımdan düzgün yanaşmadır. Modeldə

təhlükə intensivliyi, zəiflik səviyyəsi, təsir dərəcəsi, məruzqalma səviyyəsi, aşkarlama qabiliyyəti, bərpa qabiliyyəti və idarəetmə yetkinliyi kimi indikatorların nəzərə alınması riskin yalnız texniki deyil, həm də idarəetmə baxımından qiymətləndirilməsinə imkan verir [1].

**Cədvəl 6. Kibersuverenlik risklərinin qiymətləndirilməsi üçün əsas indikatorlar**

| İndikator             | İzah                                                    | Riskə təsir forması                        |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Təhlükə intensivliyi  | Hücumun başvermə ehtimalı və aktivliyi                  | Artdıqca risk yüksəlir                     |
| Zəiflik səviyyəsi     | Sistemlərdə və proseslərdə mövcud boşluqlar             | Zəiflik çox olduqda hücum uğurlu ola bilər |
| Təsir dərəcəsi        | Hücumun dövlət, iqtisadiyyat və cəmiyyət üçün nəticəsi  | Təsir yüksək olduqda prioritet artır       |
| Məruzqalma səviyyəsi  | Aktivlərin internetə və xarici sistemlərə açıq olması   | Məruzqalma artdıqca risk artır             |
| Aşkarlama qabiliyyəti | Hücumun vaxtında müəyyən edilməsi imkanı                | Aşkarlama zəifdirsə zərər böyüyür          |
| Bərpa qabiliyyəti     | Hücumdan sonra sistemin normal vəziyyətə qaytarılması   | Bərpa zəifdirsə xidmət dayanması uzanır    |
| İdarəetmə yetkinliyi  | Siyasət, prosedur, məsuliyyət və koordinasiya səviyyəsi | Yetkinlik aşağıdırsa risk idarə olunmur    |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [7], [13] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 6 risklərin daha real qiymətləndirilməsi üçün lazımi çərçivəni təqdim edir. Burada yalnız hücumun olub-olmaması deyil, hücum baş verdikdə dövlətin onu necə aşkarlayacağı, necə cavab verəcəyi və necə bərpa olunacağı da nəzərə alınır. Bu, klassik təhlükəsizlik yanaşmasından daha yetkin modeldir.

Risqlərin qiymətləndirilməsi zamanı ən böyük səhvlərdən biri yalnız texniki göstəricilərə baxmaqdır. Məsələn, sistemdə antivirusun olması və ya firewall-un qurulması təhlükəsizlik demək deyil. Əgər istifadəçilər fişinq məktublarını tanımırırsa, ehtiyat nüsxələr yoxlanılırsa, insident planı yazılı formada qalıb tətbiq edilmirsə, risk yenə də yüksək qalır. Ona görə də kibersuverenlik riskləri insan, proses və texnologiya üçlüyü üzərindən qiymətləndirilməlidir.

Risk qiymətləndirməsinin nəticələri qərarverməyə xidmət etməlidir. Yəni model yalnız hesablama üçün deyil, hansı sahəyə investisiya qoyulmalı, hansı sistemlər yenilənməli, hansı qurumlarda təlim artırılmalı və hansı qanunvericilik boşluqları aradan qaldırılmalıdır suallarına cavab verməlidir. Əks halda risk qiymətləndirməsi praktiki dəyərini itirir [14].

## 7. Kibersuverenlik risklərinin prioritetləşdirilməsi

Kibersuverenlik risklərinin prioritetləşdirilməsi dövlətin məhdud resurslarını daha effektiv bölüşdürmək üçün vacibdir. Bütün sistemləri eyni dərəcədə qorumaq mümkün olmadığından əvvəlcə ən kritik aktivlər müəyyən edilməlidir. Bu aktivlərə dövlət reyestrləri, şəxsiyyət məlumat bazaları, enerji idarəetmə sistemləri, bank-maliyyə infrastruktur, rabitə şəbəkələri, səhiyyə məlumatları və milli təhlükəsizliklə bağlı informasiya sistemləri daxil edilə bilər. Risk prioriteti müəyyən edilərkən iki sual əsas götürülməlidir: birincisi, bu sistemə hücum ehtimalı nə qədərdir? İkincisi, hücum baş verərsə, dövlət və cəmiyyət üçün nəticə nə qədər ağır olacaq? Əgər bir sistem həm tez-tez hədəfə alınır, həm də onun dayanması böyük zərər yaradırsa, həmin sistem ən yüksək prioritetlə qorunmalıdır. Tədqiqat materialında risk hesablamlarının nəticələrinə əsasən kritik infrastruktur hücumları, ransomware, təchizat zənciri zəiflikləri və dezinformasiya ən ağır risk istiqamətləri kimi göstərilir. Məlumat sızması, DDoS hücumları, daxili istifadəçi riski və bulud asılılığı isə yüksək risk səviyyəsində qiymətləndirilir [1].

**Cədvəl 7. Kibersuverenlik risklərinin prioritet səviyyələri və idarəetmə tədbirləri**

| Risk istiqaməti                     | Prioritet səviyyəsi | Əsas səbəb                                                    | Təvsiyə olunan tədbir                                        |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Kritik infrastruktura hücum         | Kritik              | Dövlət xidmətləri və milli təhlükəsizlik üçün birbaşa təhlükə | Sektor üzrə SOC, ehtiyat sistemlər, müntəzəm audit           |
| Ransomware                          | Kritik              | Məlumatların və xidmətlərin iflic olması                      | Offline backup, segmentasiya, insident planı                 |
| Təchizat zənciri zəiflikləri        | Kritik              | Üçüncü tərəf üzərindən gizli giriş imkanı                     | Təchizatçı audit, təhlükəsizlik tələbləri, müqavilə nəzarəti |
| Dezinformasiya                      | Kritik              | İctimai etimad və sosial sabitliyə təsir                      | Media savadlılığı, monitoring, rəsmi kommunikasiya           |
| Məlumat sızması                     | Yüksək              | Fərdi və dövlət məlumatlarının yayılması                      | Şifrələmə, giriş nəzarəti, DLP sistemləri                    |
| DDoS hücumları                      | Yüksək              | Elektron xidmətlərin əlçatmazlığı                             | Trafik filtrasiyası, anti-DDoS xidmətləri                    |
| Daxili istifadəçi riski             | Yüksək              | Səlahiyyətdən sui-istifadə və ya insan səhvi                  | Zero Trust, hüquqların məhdudlaşdırılması, audit jurnalları  |
| Bulud və xarici platforma asılılığı | Yüksək              | Xarici infrastrukturdan asılılıq                              | Hibrid bulud, lokal ehtiyat, məlumat lokalizasiyası siyasəti |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [3], [7] əsasında ümumiləşdirilmişdir.

Cədvəl 7 göstərir ki, kibersuverenlik riskləri yalnız müdafiə proqramları ilə həll olunmur. Məsələn, dezinformasiya texniki firewall-la dayandırıla bilməz. Bunun üçün informasiya siyasəti, ictimai kommunikasiya, media savadlılığı və etibarlı rəsmi məlumatlandırma mexanizmləri lazımdır. Eyni şəkildə təchizat zənciri riski yalnız antivirusla yox, müqavilə şərtləri, təchizatçı audit və texniki yoxlamalarla idarə olunur. Kritik infrastrukturun qorunmasında sektor əsaslı yanaşma vacibdir. Enerji sektorunun riskləri bank sektorunun risklərindən fərqlənir. Səhiyyə sistemində məlumat məxfiliyi və xidmət davamlılığı əsas prioritet ola bilər, nəqliyyat sistemində isə real vaxt rejimində idarəetmə və əməliyyat təhlükəsizliyi ön plana çıxır. Buna görə də bütün sektorlar üçün eyni təhlükəsizlik modeli tətbiq etmək zəif yanaşmadır. Bulud asılılığı da ayrıca qiymətləndirilməlidir. Bulud texnologiyaları dövlət üçün çeviklik və xərclərə qənaət yaratsa da, kritik məlumatların xarici platformalarda saxlanması risklidir. Burada əsas məsələ buluddan imtina etmək deyil, bulud istifadəsini hüquqi, texniki və təhlükəsizlik baxımından düzgün idarə etməkdir. Hibrid bulud, məlumatların təsnifatı və lokal ehtiyat sistemləri bu baxımdan daha balanslı yanaşma yarada bilər [15].

## 8. İnsan faktoru və kibersuverenlik

Kibersuverenlikdən danışanda çox vaxt diqqət texnologiyalara yönəlir. Halbuki kiber risklərin böyük hissəsində insan faktoru mühüm rol oynayır. Fişinq məktublarına klikləmək, zəif paroldan istifadə etmək, sistem yeniləmələrini gecikdirmək, məxfi məlumatları qorunmayan kanallarla göndərmək və daxili qaydalara əməl etməmək ciddi təhlükələr yarada bilər. İnsan faktoru iki istiqamətdə qiymətləndirilməlidir. Birincisi, insan səhvləri təhlükə mənbəyidir. İkincisi, düzgün hazırlanmış insan resursları dövlətin ən güclü müdafiə qatına çevrilə bilər. Əgər dövlət qulluqçuları, texniki mütəxəssislər, menecerlər və vətəndaşlar təhlükəsizlik mədəniyyətinə malikdirsə, bir çox hücum erkən mərhələdə dayandırıla bilər. Bu səbəbdən kibersuverenlik strategiyasında təlim və maarifləndirmə ayrıca yer tutmalıdır. Təhlükəsizlik təlimləri yalnız formal seminar şəklində keçirilməməlidir. Real fişinq simulyasiyaları, insident məşqləri, sektor üzrə

təlimlər, rəhbər şəxslər üçün qərarvermə ssenariləri və texniki komandalar üçün praktiki laboratoriyalar daha effektiv nəticə verə bilər [16].

**Cədvəl 8. İnsan faktoru üzrə risklər və qabaqlayıcı tədbirlər**

| <b>İnsan faktoru riski</b>            | <b>Nəticə</b>                              | <b>Qabaqlayıcı tədbir</b>                   |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Zəif parollar                         | Hesabların ələ keçirilməsi                 | Çoxfaktorlu autentifikasiya, parol siyasəti |
| Fişinqə aldanma                       | Məlumat sızması və sistemə giriş           | Simulyasiya təlimləri, e-poçt filtrası      |
| Səlahiyyətlərin artıq verilməsi       | Daxili sui-istifadə riski                  | Minimum səlahiyyət prinsipi                 |
| Təhlükəsizlik qaydalarına əməl etməmə | Sistem zəiflikləri və insidentlər          | Davamlı nəzarət və məsuliyyət mexanizmi     |
| Ehtiyat nüsxələrin yoxlanılmaması     | Hücumdan sonra bərpa probleminin yaranması | Backup testləri və bərpa məşqləri           |
| Rəhbərlik səviyyəsində məlumatlılıq   | Yanlış resurs bölgüsü                      | Rəhbərlər üçün kiber risk təlimləri         |
| Daxili istifadəçi narazılığı          | Qəsdən zərər və məlumat sızması            | Davranış monitorinqi, etik idarəetmə        |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [3], [7], [16] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 8 göstərir ki, insan faktoru yalnız texniki işçilərlə bağlı deyil. Rəhbərlik səviyyəsində kiber risklərin düzgün başa düşülməməsi də ciddi problemdir. Əgər rəhbərlik kibertəhlükəsizliyi yalnız IT şöbəsinin işi hesab edirsə, lazımi büdcə, səlahiyyət və koordinasiya təmin olunmur. Nəticədə texniki komanda riskləri bilsə də, onları aradan qaldırmaq üçün institusional dəstək görmür. Təhlükəsizlik mədəniyyəti dövlət və təşkilat daxilində gündəlik davranış normasına çevrilməlidir. Bu mədəniyyət yalnız qadağalarla formalaşmır. İnsanlar təhlükəsizlik qaydalarının niyə vacib olduğunu anlamalı, real nümunələr görməli və öz davranışlarının dövlətin rəqəmsal təhlükəsizliyinə təsir etdiyini dərk etməlidirlər. Kibersuverenlik baxımından təhsil sistemi də vacibdir. Universitetlərdə kibertəhlükəsizlik, informasiya hüququ, rəqəmsal idarəetmə və məlumat analitikası üzrə ixtisasların inkişafı uzunmüddətli milli potensial yaradır. Dövlətin xarici texnologiya və kadr asılılığını azaltması üçün yerli insan kapitalı əsas şərtdir [2].

## 9. Dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı

Kibersuverenliyin təmin olunmasında dövlət təkbaşına hər şeyi həll edə bilməz. Kritik informasiya infrastrukturlarının bir hissəsi özəl sektorun idarəçiliyində ola bilər. Banklar, telekommunikasiya şirkətləri, enerji operatorları, internet provayderləri, bulud xidməti təminatçıları və proqram təminatı şirkətləri milli kibertəhlükəsizlik ekosisteminin mühüm iştirakçılarıdır. Dövlət-özəl sektor əməkdaşlığı məlumat mübadiləsi, insidentlərə reaksiya, standartların tətbiqi, təlimlər, auditlər və təchizat zənciri təhlükəsizliyi sahələrində qurulmalıdır. Əgər özəl sektor insidentləri gizlədirsə və ya dövlətlə vaxtında paylaşmırsa, hücumların miqyası böyüyə bilər. Əksinə, etibarlı və hüquqi baxımdan qorunan məlumat mübadiləsi mexanizmi hücumların daha tez aşkarlanmasına və qarşısının alınmasına kömək edir. Lakin bu əməkdaşlıq düzgün balans tələb edir. Dövlət özəl sektor üzərində həddindən artıq inzibati yük yaratmamalıdır. Eyni zamanda özəl sektorun təhlükəsizlik öhdəlikləri də aydın olmalıdır. Xüsusilə kritik infrastruktur operatorları minimum təhlükəsizlik standartlarına, insident bildiriş qaydalarına və müntəzəm audit tələblərinə əməl etməlidir [10].



**Cədvəl 9. Kibersuverenlikdə dövlət-özl sektor əməkdaşlığının əsas istiqamətləri**

| Əməkdaşlıq istiqaməti                | Dövlətin rolu                       | Özl sektorun rolu                      | Gözlənilən nəticə              |
|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| İnsident məlumatlarının paylaşılması | Hüquqi və texniki platforma yaradır | Hadisələri vaxtında bildirir           | Təhlükələr erkən aşkarlanır    |
| Kritik infrastrukturun qorunması     | Standart və nəzarət müəyyən edir    | Təhlükəsizlik tədbirlərini tətbiq edir | Dayanıqlılıq artır             |
| Təlim və kadr hazırlığı              | Milli proqramlar təşkil edir        | Praktiki təcrübə və resurs verir       | İnsan kapitalı güclənir        |
| Təchizat zənciri təhlükəsizliyi      | Tələbləri müəyyən edir              | Təchizatçıları yoxlayır                | Gizli zəifliklər azalır        |
| Texnoloji innovasiya                 | Dəstək və stimullar verir           | Yeni həllər hazırlayır                 | Yerli texnoloji imkanlar artır |
| Böhran simulyasiyaları               | Milli səviyyəli təlimlər keçirir    | Sektor üzrə iştirak edir               | Reaksiya qabiliyyəti yüksəlir  |
| Standartlaşdırma                     | Normativ çərçivə yaradır            | Standartlara uyğunlaşır                | Uyğunluq və hesabatlılıq artır |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [2], [8], [10] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 9 göstərir ki, dövlət-özl sektor əməkdaşlığı formal memorandumlarla məhdudlaşmamalıdır. Real əməkdaşlıq operativ məlumat mübadiləsi, birgə təlimlər, risk qiymətləndirmələri və sektor əsaslı müdafiə planları üzərində qurulmalıdır. Burada etimad əsas şərtədir. Özl sektor insident bildirdiyinə görə cəzalandırılacağını düşünürsə, məlumat gizlətməyə meylli ola bilər. Ona görə də hüquqi mexanizm həm məsuliyyəti, həm də əməkdaşlığı təşviq etməlidir.

Yerli texnoloji imkanların inkişafı da dövlət-özl sektor əməkdaşlığının mühüm hissəsidir. Kibersuverenlik üçün bütün texnologiyaların yerli olması real deyil, amma ən kritik sahələrdə yerli kompetensiyaların və alternativ həllərin olması vacibdir. Əks halda dövlət xarici təchizatçıların qiymət, siyasət, sanksiya və texniki qərarlarından həddindən artıq asılı vəziyyətə düşə bilər.

Bu əməkdaşlığın uğurlu olması üçün şəffaf qaydalar, sektor üzrə məsuliyyət bölgüsü və ölçülə bilən göstəricilər lazımdır. Sadəcə "əməkdaşlıq gücləndirilməlidir" demək yetərli deyil. Hər sektor üzrə risk xəritəsi, minimum təhlükəsizlik tələbləri, insident bildiriş müddətləri və bərpa planları müəyyən edilməlidir [15].

## **10. Kibersuverenliyin gücləndirilməsi üzrə təkmilləşdirmə istiqamətləri**

Dövlətin kibersuverenliyini gücləndirmək üçün kompleks və mərhələli yanaşma tələb olunur. İlk növbədə, milli səviyyədə hansı aktivlərin kritik olduğu müəyyən edilməlidir. Kritik aktivlər dəqiq siyahıya alınmadan resursların düzgün bölüşdürülməsi mümkün deyil. Dövlət bilməlidir ki, hansı sistemin dayanması milli təhlükəsizlik, iqtisadiyyat və ictimai həyat üçün ən ağır nəticələr yarada bilər.

İkinci istiqamət risk əsaslı idarəetmə modelinin tətbiqidir. Qurumlar yalnız formal təhlükəsizlik sənədləri hazırlamamalı, riskləri mütəmadi ölçməli və yeniləməlidir. Risk xəritələri, zəiflik testləri, penetrasiya testləri, təhlükə kəşfiyyatı və insident statistikasi idarəetmə qərarlarının əsasına çevrilməlidir. ITU-nun yanaşmasında da hüquqi, texniki, təşkilati, potensial və əməkdaşlıq tədbirləri birlikdə qiymətləndirilir [2].

Üçüncü istiqamət hüquqi bazanın rəqəmsal reallığa uyğunlaşdırılmasıdır. Qanunvericilik kibərhücumların hüquqi qiymətləndirilməsi, kritik infrastrukturların öhdəlikləri, məlumatların qorunması, platformaların məsuliyyəti və transsərhəd əməkdaşlıq mexanizmləri baxımından yenilənməlidir. NIS2 Direktivi kimi yanaşmalar göstərir ki, müasir kibertəhlükəsizlik hüququ sektorlar üzrə risk idarəetməsi, insident bildirişi və nəzarət mexanizmlərini birlikdə nəzərdə tutur [10].



**Cədvəl 10. Dövlətin kibersuverenliyinin gücləndirilməsi üzrə əsas təkliflər**

| Təklif istiqaməti                     | Konkret tədbir                                                         | Gözlənilən nəticə                      |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Kritik aktivlərin müəyyənləşdirilməsi | Milli kritik informasiya infrastrukturu reyestrinin yenilənməsi        | Prioritet müdafiə sahələri dəqiqləşir  |
| Risk əsaslı idarəetmə                 | Kibersuverenlik Risk İndeksi kimi modellərin tətbiqi                   | Risqlər ölçülür və müqayisə edilir     |
| Hüquqi bazanın gücləndirilməsi        | İnsident bildirişi, audit və məsuliyyət qaydalarının dəqiqləşdirilməsi | Hüquqi qeyri-müəyyənlik azalır         |
| Texniki dayanıqlılıq                  | SOC, SIEM, anti-DDoS, backup və bərpa sistemlərinin gücləndirilməsi    | Hücumlara reaksiya və bərpa sürətlənir |
| İnsan kapitalı                        | Davamlı təlim, sertifikatasiya və simulyasiya proqramları              | İnsan səhvləri azalır                  |
| Təchizat zənciri nəzarəti             | Təchizatçıların təhlükəsizlik auditi                                   | Üçüncü tərəf riskləri azalır           |
| Bulud siyasəti                        | Hibrid bulud və məlumat təsnifatı qaydalarının tətbiqi                 | Xarici asılılıq idarə olunur           |
| Dezinformasiya ilə mübarizə           | Monitoring, media savadlılığı və rəsmi kommunikasiya mexanizmləri      | İctimai etimad qorunur                 |
| Beynəlxalq əməkdaşlıq                 | CERT-lərarası əlaqə, birgə təlimlər, hüquqi yardım                     | Transsərhəd risklərə cavab güclənir    |
| Monitoring və hesabatlılıq            | Strategiya icrasının ölçülə bilən indikatorlarla izlənməsi             | İcra keyfiyyəti yüksəlir               |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən [1], [2], [8], [10], [13] əsasında hazırlanmışdır.

Cədvəl 10-da verilən təkliflər göstərir ki, kibersuverenliyin gücləndirilməsi yalnız texniki avadanlıq almaqla mümkün deyil. Əsas məsələ sistem qurmaqdır. Bu sistemdə qanunvericilik, texnologiya, insan kapitalı, institusional koordinasiya və beynəlxalq əməkdaşlıq bir-birini tamamlamalıdır. Dövlət üçün ən vacib istiqamətlərdən biri bərpa qabiliyyətidir. Çünki heç bir sistem yüz faiz hücumdan qorunmur. Əsas məsələ hücumun qarşısını almaqla yanaşı, hücum baş verdikdə zərəri məhdudlaşdırmaq və xidmətləri qısa müddətdə bərpa etməkdir. Bu baxımdan ehtiyat nüsxələrin real test edilməsi, alternativ infrastrukturun hazırlanması və böhran kommunikasiya planları xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Kibersuverenlik həm də ictimai etimad məsələsidir. Vətəndaş dövlətin rəqəmsal xidmətlərindən istifadə edərkən məlumatlarının qorunduğuna inanmalıdır. Əgər vətəndaşlar elektron xidmətlərə etibar etmirsə, rəqəmsal dövlət modeli zəifləyir. Buna görə də şəffaflıq, məlumatların qorunması, insidentlər barədə düzgün kommunikasiya və istifadəçi hüquqlarının qorunması kibersuverenliyin sosial əsaslarını təşkil edir [8].

## NƏTİCƏ

Aparılan təhlil göstərir ki, dövlətin kibersuverenliyi müasir rəqəmsal dövrdə milli təhlükəsizliyin, dövlət idarəçiliyinin və ictimai sabitliyin əsas komponentlərindən birinə çevrilmişdir. Kibersuverenlik yalnız kompüter sistemlərinin qorunması deyil; o, dövlətin rəqəmsal mühitdə hüquqi, texniki, institusional və strateji nəzarət imkanlarını əhatə edən kompleks idarəetmə modelidir. Rəqəmsallaşma dövlətlərə daha çevik idarəetmə, elektron xidmətlər və məlumat əsaslı qərarvermə imkanları yaradır. Lakin bu imkanlar eyni zamanda yeni asılılıqlar və təhlükələr doğurur. Məlumatların sərhədlərarası axını, xarici bulud sistemlərindən istifadə, sosial media platformalarının təsiri, süni intellekt alqoritmləri və kritik infrastrukturların rəqəmsallaşması dövlət suverenliyinin yeni formada qorunmasını tələb edir.

Məqalədə müəyyən edildi ki, kibersuverenliyə qarşı əsas risklər kritik infrastruktur hücumları, ransomware, təchizat zənciri zəiflikləri, dezinformasiya, məlumat sızması, DDoS

hücumları, daxili istifadəçi riski və xarici platforma asılılığıdır. Bu risklər yalnız texniki sistemlərə deyil, həm də ictimai etimada, iqtisadi sabitliyə və milli təhlükəsizlik mühitinə təsir göstərir [1], [3]. Kibersuverenliyin təmin olunması üçün hüquqi-normativ baza xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Qanunvericilik kritik informasiya infrastrukturalarının qorunması, insidentlərin bildirilməsi, məlumatların mühafizəsi, kiber cinayətkarlıqla mübarizə və transsərhəd əməkdaşlıq mexanizmlərini dəqiq müəyyən etməlidir. Bununla yanaşı, hüquqi baza praktiki icra mexanizmləri, audit sistemi və məsuliyyət bölgüsü ilə tamamlanmalıdır.

Risk əsaslı idarəetmə kibersuverenlik üçün ən səmərəli yanaşmalardan biridir. Dövlətlər bütün riskləri eyni səviyyədə idarə etməyə çalışmaq əvəzinə, ən kritik sistemləri və ən ağır nəticə doğura biləcək təhlükələri prioritetləşdirməlidir. Təhlükə intensivliyi, zəiflik səviyyəsi, təsir dərəcəsi, məruzqalma, aşkarlama və bərpa qabiliyyəti kimi indikatorlara əsaslanan qiymətləndirmə daha real qərarvermə imkanı yaradır. Nəticə olaraq, dövlətin kibersuverenliyinin gücləndirilməsi üçün aşağıdakı istiqamətlər prioritet hesab edilməlidir: kritik informasiya infrastrukturalarının dəqiq müəyyənləşdirilməsi, milli risk qiymətləndirmə modelinin tətbiqi, hüquqi bazanın yenilənməsi, texniki müdafiə və bərpa sistemlərinin gücləndirilməsi, insan kapitalının inkişafı, dövlət-özəl sektor əməkdaşlığının artırılması, təchizat zənciri nəzarətinin qurulması, dezinformasiya ilə mübarizə və beynəlxalq əməkdaşlığın genişləndirilməsi.

#### ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Dövlətin kibersuverenliyi: nəzəri əsaslar, təhlükələr və risklərin qiymətləndirilməsi üzrə tədqiqat materialı.
2. International Telecommunication Union. Global Cybersecurity Index 2024. ITU, 2024.
3. European Union Agency for Cybersecurity. ENISA Threat Landscape 2024. ENISA, 2024.
4. Schmitt, M. N. Tallinn Manual 2.0 on the International Law Applicable to Cyber Operations. Cambridge University Press, 2017.
5. Nye, J. S. Cyber Power. Harvard Kennedy School, Belfer Center, 2010.
6. DeNardis, L. The Global War for Internet Governance. Yale University Press, 2014.
7. ISO/IEC. ISO/IEC 27001:2022 Information Security Management Systems. International Organization for Standardization, 2022.
8. Azərbaycan Respublikasının informasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükəsizliyə dair 2023–2027-ci illər üçün Strategiyası.
9. Bradshaw, S., & Howard, P. N. The Global Organization of Social Media Disinformation Campaigns. Journal of International Affairs, 2018.
10. European Union. Directive (EU) 2022/2555 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union — NIS2 Directive.
11. United Nations. Open-ended Working Group on security of and in the use of information and communications technologies 2021–2025.
12. OECD. Digital Security Risk Management for Economic and Social Prosperity. OECD Publishing.
13. NIST. Cybersecurity Framework 2.0. National Institute of Standards and Technology, 2024.
14. Caverty, M. D. Cyber-Security and Threat Politics: US Efforts to Secure the Information Age. Routledge.
15. Kshetri, N. Cybersecurity and International Relations: The U.S. Engagement with China and Russia. Routledge.
16. Von Solms, R., & Van Niekerk, J. From Information Security to Cyber Security. Computers & Security, 2013.

# KRİTİK İNFORMASIYA İNFRASRUKTURLARINDA KİBERSUVERENLİK RİSKLƏRİNİN RİYAZİ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ DAYANIQLILIQ MODELİNİN QURULMASI

Rəsul Qurbanov Rafət

Magistrant, Azərbaycan Texniki Universiteti

Ziya Qədimli Hikmət

Magistrant, Azərbaycan Texniki Universiteti

## XÜLASƏ

Müasir dövrdə dövlətlərin təhlükəsizliyi yalnız fiziki sərhədlərin qorunması ilə məhdudlaşmır. Dövlət idarəçiliyi, bank sistemi, enerji infrastruktur, səhiyyə xidmətləri, vətəndaş məlumat bazaları və elektron hökumət platformaları rəqəmsal sistemlər üzərindən fəaliyyət göstərdiyi üçün kiberməkan artıq suverenliyin əsas komponentlərindən birinə çevrilmişdir. Bu şəraitdə dövlətin kibersuverenliyi onun rəqəmsal infrastruktur üzərində hüquqi, texnoloji və idarəetmə nəzarətini təmin etməsi ilə bağlıdır. Bu məqalədə kibersuverenlik məsələsi ümumi nəzəri yanaşma kimi deyil, konkret hesablama modeli əsasında araşdırılır. Məqsəd kritik informasiya infrastrukturlarında yaranan kiber risklərin ölçülməsi, prioritetləşdirilməsi və risk azaldıcı tədbirlərdən sonra nəticələrin müqayisə edilməsidir. Bunun üçün Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli və Gözlənilən illik Zərər modeli təklif olunur. Modeldə təhlükə intensivliyi, zəiflik səviyyəsi, təsir dərəcəsi, məruzqalma, aşkarlama qabiliyyəti, bərpa qabiliyyəti, idarəetmə yetkinliyi və xarici asılılıq kimi göstəricilər nəzərə alınır. Tədqiqatda elektron hökumət portalı, vətəndaş fərdi məlumat bazası, enerji idarəetmə sistemi, bank ödəniş infrastruktur, dövlət bulud platforması və səhiyyə informasiya sistemi nümunəvi aktivlər kimi seçilmişdir. Aparılan hesablamalar göstərir ki, ən yüksək kibersuverenlik riski enerji idarəetmə sistemi, vətəndaş məlumat bazası və dövlət bulud platforması üzrə müşahidə olunur. Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra isə bütün aktivlər üzrə risk səviyyəsinin azaldığı, lakin bəzi sistemlərin hələ də yüksək nəzarət tələb etdiyi müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər:** kibersuverenlik, kritik informasiya infrastruktur, risk indeksi, kiber risk, ransomware, məlumat sızması, dövlət buludu, gözlənilən illik zərər, rəqəmsal suverenlik

## GİRİŞ

Rəqəmsallaşma dövlət idarəçiliyini daha sürətli və çevik etsə də, eyni zamanda dövlətləri yeni təhlükələr qarşısında daha həssas vəziyyətə gətirmişdir. Əgər əvvəllər dövlət suverenliyi əsasən ərazi, sərhəd və siyasi hakimiyyət anlayışları ilə izah olunurdusa, bu gün suverenlik həm də məlumatların, rəqəmsal xidmətlərin, informasiya infrastrukturunun və elektron platformaların qorunması ilə bağlıdır. Dövlətin rəqəmsal mühitdə öz idarəetmə qabiliyyətini itirməsi onun real suverenliyinə də təsir göstərə bilər.

Kibersuverenlik anlayışı bu baxımdan yalnız kibershücumların qarşısının alınması demək deyil. Bu anlayış daha genişdir və dövlətin məlumat bazaları, kritik informasiya infrastruktur, elektron xidmətləri, texnoloji təchizat zənciri, rəqəmsal platformaları və informasiya məkanı üzərində effektiv idarəetmə imkanlarını əhatə edir. Göndərilən tədqiqat materialında da

kibersuverenliyin yalnız texniki müdafiə kimi deyil, hüquqi, institusional, strateji və sosial komponentləri olan kompleks idarəetmə modeli kimi təhlil edilməsi vurğulanır.

Bu mövzunun aktuallığı ondan ibarətdir ki, dövlətin kritik informasiya infrastrukturlarına qarşı hücumlar artıq sadəcə texniki problem yaratmır. Belə hücumlar dövlət xidmətlərinin dayanmasına, vətəndaş məlumatlarının sızmasına, bank əməliyyatlarının pozulmasına, enerji sistemlərində nasazlıqlara, ictimai etimadın azalmasına və iqtisadi itkilərə səbəb ola bilər. Ona görə də kibersuverenlik risklərinin yalnız təsvir edilməsi kifayət deyil; bu risklər ölçülməli, müqayisə edilməli və prioritetləşdirilməlidir.

Bu işin fərqliliyi ondan ibarətdir ki, kibersuverenlik mövzusu ümumi nəzəri izahdan çıxarılaraq riyazi qiymətləndirmə modelinə çevrilir. Burada "hansı risk daha təhlükəlidir?" sualına subyektiv cavab verilmir. Əksinə, risklər konkret bal sistemi ilə hesablanır və nəticədə hansı aktivin daha kritik olduğu müəyyən edilir.

### 1. Mövzunun nəzəri əsasları

Kibersuverenlik dövlətin kiberməkanda öz hüquqi və texnoloji nəzarət imkanlarını qoruması deməkdir. Bu anlayış dövlətin yalnız internet üzərində nəzarət etməsi kimi başa düşülməməlidir. Kibersuverenlik məlumatların saxlanması, emalı, ötürülməsi, qorunması, kritik informasiya infrastrukturlarının idarə olunması və rəqəmsal xidmətlərin davamlılığı ilə bağlı daha geniş məzmun daşıyır.

Rəqəmsal dövrdə dövlətlər öz funksiyalarını əsasən informasiya sistemləri vasitəsilə həyata keçirirlər. Vergi xidmətləri, şəxsiyyət vəsiqəsi məlumatları, sosial ödənişlər, səhiyyə qeydiyyatı, bank əməliyyatları və ictimai xidmətlər rəqəmsal sistemlərdən asılıdır. Bu sistemlərin sıradan çıxması dövlətin gündəlik idarəetmə imkanlarını məhdudlaşdırır. Buna görə də kritik informasiya infrastrukturlarının qorunması kibersuverenliyin əsas istiqamətlərindən biridir.

Tədqiqat materialında göstərilirdiyi kimi, kibersuverenlik risklərinin qiymətləndirilməsində texniki göstəricilərlə yanaşı strateji və sosial göstəricilər də nəzərə alınmalıdır. Çünki bəzi hallarda kiçik texniki zəiflik böyük siyasi, sosial və reputasiya nəticələri yarada bilər. Bu yanaşma kibersuverenlik risklərinin çoxsəviyyəli qiymətləndirilməsini zəruri edir.

### 2. Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri

Bu tədqiqatın əsas məqsədi kritik informasiya infrastrukturlarında kibersuverenlik risklərinin riyazi model əsasında qiymətləndirilməsi və risklərin prioritetləşdirilməsi üçün praktiki yanaşma təqdim etməkdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir:

1. Kibersuverenlik risklərinin əsas göstəricilərini müəyyənləşdirmək;
2. Kritik informasiya infrastrukturlarını nümunəvi aktivlər üzrə qruplaşdırmaq;
3. Risklərin hesablanması üçün Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli hazırlamaq;
4. Hər aktiv üzrə risk balını hesablamaq;
5. Risklərin gözlənilən illik maliyyə təsirini müəyyən etmək;
6. Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra nəticələri müqayisə etmək;
7. Əldə olunan nəticələr əsasında prioritet tədbirlər təklif etmək.

Bu yanaşma mövzunu daha praktik edir. Çünki sadəcə "risk yüksəkdir" demək kifayət deyil. Əsas məsələ riskin nə qədər yüksək olduğunu, hansı sistem üçün daha təhlükəli olduğunu və hansı tədbirdən sonra nə qədər azaldığını göstərməkdir.

### 3. Tədqiqatın metodologiyası

Tədqiqatda sistemli təhlil, müqayisəli qiymətləndirmə, bal metodu, risk indeksləşdirmə və sadələşdirilmiş gözlənilən zərər hesablamasından istifadə edilmişdir. Model real statistik məlumat bazası üzərində deyil, nümunəvi qiymətləndirmə prinsipi əsasında qurulmuşdur. Buna görə də

cədvəllərdə verilən rəqəmlər konkret dövlət qurumunun real məxfi göstəriciləri deyil, modelin işləmə məntiqini göstərmək üçün istifadə olunan şərti qiymətləndirmə göstəriciləridir.

Qiymətləndirmə 1–5 bal aralığında aparılmışdır. Burada 1 ən aşağı, 5 isə ən yüksək səviyyəni göstərir. Lakin bütün göstəricilər riskə eyni istiqamətdə təsir etmir. Məsələn, təhlükə intensivliyi yüksək olduqda risk artır. Amma aşkarlama qabiliyyəti yüksək olduqda risk azalır. Buna görə də modeldə bəzi göstəricilər birbaşa, bəziləri isə əks təsir prinsipi ilə hesablanır.

Tədqiqat materialında da risk qiymətləndirməsi zamanı təhlükə intensivliyi, zəiflik səviyyəsi, təsir dərəcəsi, məruzqalma, aşkarlama qabiliyyəti, bərpa qabiliyyəti və idarəetmə yetkinliyi kimi göstəricilərin əsas götürüldüyü qeyd olunur. Bu işdə həmin yanaşma genişləndirilmiş və əlavə olaraq “xarici asılılıq” göstəricisi də modelə daxil edilmişdir.

#### 4. Qiymətləndirmə göstəriciləri

Kibersuverenlik risklərinin ölçülməsi üçün səkkiz əsas göstərici seçilmişdir. Bu göstəricilər həm texniki, həm idarəetmə, həm də strateji riskləri əhatə edir.

**Cədvəl 1. Kibersuverenlik risk modelində istifadə olunan əsas göstəricilər**

| Göstərici             | Qısaltma | İzah                                                               | Riskə təsiri         |
|-----------------------|----------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Təhlükə intensivliyi  | T        | Aktivin kiberhücum hədəfi olma ehtimalı                            | Artdıqca risk artır  |
| Zəiflik səviyyəsi     | Z        | Sistem və proseslərdə mövcud boşluqlar                             | Artdıqca risk artır  |
| Təsir dərəcəsi        | TƏ       | Hücum baş verdikdə dövlətə və cəmiyyətə təsir                      | Artdıqca risk artır  |
| Məruzqalma səviyyəsi  | M        | Aktivin internetə, xarici şəbəkəyə və üçüncü tərəflərə açıq olması | Artdıqca risk artır  |
| Aşkarlama qabiliyyəti | A        | Hücumun vaxtında müəyyən edilməsi imkanı                           | Artdıqca risk azalır |
| Bərpa qabiliyyəti     | B        | Hücumdan sonra sistemin bərpa olunma imkanı                        | Artdıqca risk azalır |
| İdarəetmə yetkinliyi  | İ        | Siyasət, prosedur, audit və koordinasiya səviyyəsi                 | Artdıqca risk azalır |
| Xarici asılılıq       | XA       | Xarici bulud, proqram, təchizatçı və platformalardan asılılıq      | Artdıqca risk artır  |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən kibersuverenlik riskləri üzrə tədqiqat materialı əsasında hazırlanmışdır.

Bu göstəricilərdən görünür ki, kibersuverenlik yalnız firewall, antivirus və şifrələmə ilə ölçülə bilməz. Dövlətin bir sistemi texniki baxımdan qorunsa da, əgər o sistem xarici bulud platformasından çox asılıdırsa, təchizatçı yoxlaması aparılmırsa və bərpa planı zəifdirsə, ümumi kibersuverenlik riski yenə də yüksək qala bilər.

#### 5. Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli

Riskin hesablanması üçün aşağıdakı model təklif olunur:

$$KSRİ = \left[ 0.18 \times \frac{T}{5} + 0.14 \times \frac{Z}{5} + 0.20 \times \frac{TƏ}{5} + 0.12 \times \frac{M}{5} + 0.10 \times \frac{6-A}{5} + 0.08 \times \frac{6-B}{5} + 0.10 \times \frac{6-I}{5} + 0.08 \times \frac{XA}{5} \right] \times 100$$

Burada:

- KSRİ — Kibersuverenlik Risk İndeksi;

- T — təhlükə intensivliyi;
- Z — zəiflik səviyyəsi;
- TƏ — təsir dərəcəsi;
- M — məruzqalma səviyyəsi;
- A — aşkarlama qabiliyyəti;
- B — bərpa qabiliyyəti;
- İ — idarəetmə yetkinliyi;
- XA — xarici asılılıq göstəricisidir.

Modeldə təsir dərəcəsinə daha yüksək çəki verilmişdir. Çünki dövlət suverenliyi baxımından riskin ən vacib tərəfi yalnız hücum ehtimalı deyil, həmin hücum baş verdikdə yaradacağı nəticədir. Məsələn, kiçik bir sistemdə yüksək hücum ehtimalı ola bilər, amma onun dövlət üçün təsiri aşağıdırsa, risk strateji baxımdan kritik sayılmaya bilər. Əksinə, enerji idarəetmə sistemi nadir hücumla məruz qalsa belə, hücumun nəticəsi çox ağır ola bilər.

**Cədvəl 2. Risk səviyyələrinin interpretasiyası**

| KSRİ aralığı | Risk səviyyəsi | İzah                                                                     |
|--------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 0–39         | Aşağı risk     | Mövcud nəzarət tədbirləri əsasən kifayət edir                            |
| 40–59        | Orta risk      | Risk izlənməli və müəyyən tədbirlər görülməlidir                         |
| 60–79        | Yüksək risk    | Qısa müddətdə risk azaldıcı tədbirlər tələb olunur                       |
| 80–100       | Kritik risk    | Təcili müdaxilə, yüksək səviyyəli nəzarət və strateji qərar tələb olunur |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən təklif olunan Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli əsasında hazırlanmışdır.

Bu bölgü riskləri daha aydın qiymətləndirməyə imkan verir. Əgər bir aktiv üzrə indeks 80-dən yuxarıdırsa, bu artıq adi texniki risk deyil, dövlətin rəqəmsal suverenliyi üçün kritik risk kimi qəbul edilməlidir.

## 6. Nümunəvi kritik informasiya aktivləri

Tədqiqatda altı əsas kritik informasiya aktivləri seçilmişdir. Bu aktivlər dövlətin rəqəmsal fəaliyyətinin fərqli istiqamətlərini əhatə edir.

**Cədvəl 3. Qiymətləndirmə üçün seçilmiş kritik informasiya aktivləri**

| Aktiv                            | Əsas funksiyası                                                     | Kibersuverenlik baxımından əhəmiyyəti               |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Elektron hökumət portalı         | Dövlət xidmətlərinin vətəndaşlara elektron formada təqdim edilməsi  | Dövlət-vətəndaş əlaqəsinin davamlılığı              |
| Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | Şəxsiyyət, qeydiyyat və sosial məlumatların saxlanması              | Məlumat suverenliyi və fərdi məlumatların qorunması |
| Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | Enerji infrastrukturunun texniki idarə edilməsi                     | Milli təhlükəsizlik və kritik xidmət davamlılığı    |
| Bank ödəniş infrastrukturu       | Elektron ödənişlərin və maliyyə əməliyyatlarının icrası             | İqtisadi sabitlik və maliyyə təhlükəsizliyi         |
| Dövlət bulud platforması         | Dövlət məlumatlarının və xidmətlərinin mərkəzləşdirilmiş saxlanması | Texnoloji asılılıq və məlumat idarəçiliyi           |
| Səhiyyə informasiya sistemi      | Pasiyent məlumatları və tibbi xidmətlərin idarə edilməsi            | Həyati xidmətlər və fərdi məlumatların qorunması    |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən kritik informasiya infrastrukturu yanaşması əsasında hazırlanmışdır.

Bu aktivlər təsadüfi seçilməyib. Onların hər biri dövlətin funksional dayanıqlılığı üçün vacibdir. Elektron hökumət portalı dayanarsa, vətəndaş xidmətləri pozular. Vətəndaş məlumat bazası sızarsa, fərdi məlumat təhlükəsizliyi və ictimai etimad zədələnər. Enerji idarəetmə sisteminə hücum isə artıq birbaşa milli təhlükəsizlik riskidir.

## 7. İlkin risk qiymətləndirməsi

Aşağıdakı cədvəldə hər aktiv üzrə 1–5 bal aralığında qiymətləndirmə aparılmışdır.

**Cədvəl 4. Kritik informasiya aktivləri üzrə ilkin risk göstəriciləri**

| Aktiv                            | T | Z | TƏ | M | A | B | İ | XA |
|----------------------------------|---|---|----|---|---|---|---|----|
| Elektron hökumət portalı         | 4 | 4 | 4  | 5 | 3 | 3 | 3 | 3  |
| Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 4 | 5 | 5  | 4 | 3 | 2 | 3 | 4  |
| Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 5 | 4 | 5  | 4 | 2 | 2 | 3 | 3  |
| Bank ödəniş infrastrukturu       | 4 | 3 | 5  | 4 | 4 | 4 | 4 | 3  |
| Dövlət bulud platforması         | 4 | 4 | 5  | 5 | 3 | 3 | 3 | 5  |
| Səhiyyə informasiya sistemi      | 4 | 4 | 4  | 4 | 2 | 2 | 2 | 3  |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən nümunəvi qiymətləndirmə əsasında hazırlanmışdır.

Bu cədvəldə enerji idarəetmə sistemi üzrə təhlükə intensivliyi 5 götürülmüşdür. Çünki enerji infrastrukturu dövlət üçün strateji aktivdir və belə sistemlərə hücum yalnız texniki deyil, milli təhlükəsizlik nəticələri də yarada bilər. Vətəndaş məlumat bazasında zəiflik səviyyəsi 5 kimi qiymətləndirilmişdir, çünki bu cür məlumat bazalarının hədəfə alınması məlumat sızması, sosial mühəndislik və şəxsiyyət oğurluğu risklərini artırır.

Dövlət bulud platformasında xarici asılılıq göstəricisi 5 götürülmüşdür. Bu o deməkdir ki, sistem xarici platforma, xarici proqram təminatı və ya xarici texniki xidmətlərdən yüksək dərəcədə asılı olduqda kybersuverenlik riski də artır. Bu, bulud texnologiyasının pis olması demək deyil. Problem buluddan nəzarətsiz və hüquqi təminatlı istifadə edildikdə yaranır.

## 8. Kibersuverenlik Risk İndeksinin hesablanması

Aşağıda model əsasında hər aktiv üzrə KSRI nəticəsi hesablanmışdır.

**Cədvəl 5. Kritik informasiya aktivləri üzrə KSRI nəticələri**

| Aktiv                            | KSRI nəticəsi | Risk səviyyəsi |
|----------------------------------|---------------|----------------|
| Elektron hökumət portalı         | 75.2          | Yüksək         |
| Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 82.8          | Kritik         |
| Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 84.0          | Kritik         |
| Bank ödəniş infrastrukturu       | 68.4          | Yüksək         |
| Dövlət bulud platforması         | 82.4          | Kritik         |
| Səhiyyə informasiya sistemi      | 78.4          | Yüksək         |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli əsasında hesablanmışdır.

Nəticələr göstərir ki, ən yüksək risk enerji idarəetmə sistemi — SCADA üzrədir. Bu aktiv üzrə KSRI 84.0-dır və kritik risk zonasına daxildir. Bunun əsas səbəbi təsir dərəcəsinin yüksək, aşkarlama və bərpa qabiliyyətinin isə aşağı olmasıdır. Enerji sistemində hücumun nəticəsi yalnız məlumat itkisi deyil, real xidmət dayanması və milli təhlükəsizlik problemi ola bilər.

İkinci yüksək risk vətəndaş fərdi məlumat bazası üzrədir. Bu aktiv üzrə KSRI 82.8-dir. Burada əsas problem məlumatların həssaslığı, zəiflik səviyyəsinin yüksəkliyi və bərpa qabiliyyətinin zəif olmasıdır. Məlumat bazası sızıldıqdan sonra onu “geri qaytarmaq” mümkün deyil. Buna görə də məlumat sızması kibersuverenlik baxımından ən ağır risklərdən biridir.

Üçüncü kritik risk dövlət bulud platforması üzrədir. Bu aktivdə KSRI 82.4-dür. Burada riskin əsas səbəbi məruzqalma səviyyəsinin və xarici asılılığın yüksək olmasıdır. Dövlət buludu düzgün idarə olunarsa, effektivlik yaradır; lakin hüquqi, texniki və təhlükəsizlik nəzarəti zəifdirsə, dövlətin məlumat suverenliyi zəifləyə bilər.



### 9. Hesablamanın nümunə ilə izahı

Nümunə kimi enerji idarəetmə sistemi — SCADA üzrə hesablamaya baxaq.

Verilən göstəricilər:

- $T = 5$
- $Z = 4$
- $T\Theta = 5$
- $M = 4$
- $A = 2$
- $B = 2$
- $i = 3$
- $XA = 3$

Formula:

$$KSRI = \left[ 0.18 \times \frac{5}{5} + 0.14 \times \frac{4}{5} + 0.20 \times \frac{5}{5} + 0.12 \times \frac{4}{5} + 0.10 \times \frac{6-2}{5} + 0.08 \times \frac{6-2}{5} + 0.10 \times \frac{6-3}{5} + 0.08 \times \frac{3}{5} \right] \times 100$$

Hesablama:

$$KSRI = [0.18 + 0.112 + 0.20 + 0.096 + 0.08 + 0.064 + 0.06 + 0.048] \times 100$$

$$KSRI = 0.84 \times 100 = 84.0$$

Nəticə: 84.0 bal olduğu üçün enerji idarəetmə sistemi kritik risk səviyyəsində qiymətləndirilir.

Bu hesablama göstərir ki, enerji sistemində əsas problem yalnız hücum ehtimalı deyil. Əsas problem hücum baş verdikdə təsirin çox yüksək olması və bərpa qabiliyyətinin zəif qalmasıdır. Buna görə də bu sahədə risk azaldıcı tədbirlər ilk növbədə aşkarlama və bərpa qabiliyyətinin artırılmasına yönəlməlidir.

### 10. Gözlənilən illik zərər modeli

Risk balı vacibdir, amma tək başına kifayət deyil. Çünki bəzi risklər yüksək bal toplaya bilər, lakin maliyyə və xidmət təsiri nisbətən məhdud ola bilər. Buna görə də əlavə olaraq **Gözlənilən illik Zərər** modeli tətbiq olunur.

Model aşağıdakı kimidir:

$$P = \frac{T + Z + M}{15} \times \frac{6 - A}{5}$$

$$H = \frac{T\Theta}{5} \times \frac{6 - B}{5}$$

$$GIZ = AKD \times P \times H$$

Burada:

- $P$  — insidentin illik başvermə ehtimalı əmsalı;
- $H$  — zərər təsiri əmsalı;
- $AKD$  — aktivin kritik dəyəri;
- $GIZ$  — gözlənilən illik zərərdir.

Aktivin kritik dəyəri real dövlət məlumatı olmadığı üçün şərti milyon manatla götürülmüşdür. Bu göstərici sistemin dayanması, bərpa xərcləri, reputasiya itkisi, hüquqi məsuliyyət və xidmət pozulmasının ümumi şərti dəyərini ifadə edir.

**Cədvəl 6. Aktivlər üzrə şərti kritik dəyər göstəriciləri**

| Aktiv                            | Şərti aktiv kritik dəyəri, mln AZN |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Elektron hökumət portalı         | 8                                  |
| Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 12                                 |
| Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 20                                 |
| Bank ödəniş infrastrukturu       | 25                                 |
| Dövlət bulud platforması         | 15                                 |
| Səhiyyə informasiya sistemi      | 10                                 |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən nümunəvi model hesablaması üçün şərti qəbul edilmişdir.

Bu cədvəldə ən yüksək şərti dəyər bank ödəniş infrastrukturu və enerji idarəetmə sistemi üçün götürülmüşdür. Çünki bu sistemlərin dayanması iqtisadi və sosial həyat üçün daha ağır nəticələr yarada bilər.

## 11. Gözlənilən illik zərərin hesablanması

**Cədvəl 7. Kritik aktivlər üzrə gözlənilən illik zərər hesablaması**

| Aktiv                            | P əmsali | H əmsali | AKD, mln AZN | GİZ, mln AZN |
|----------------------------------|----------|----------|--------------|--------------|
| Elektron hökumət portalı         | 0.520    | 0.480    | 8            | 2.00         |
| Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 0.520    | 0.800    | 12           | 4.99         |
| Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 0.693    | 0.800    | 20           | 11.09        |
| Bank ödəniş infrastrukturu       | 0.293    | 0.400    | 25           | 2.93         |
| Dövlət bulud platforması         | 0.520    | 0.600    | 15           | 4.68         |
| Səhiyyə informasiya sistemi      | 0.640    | 0.640    | 10           | 4.10         |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən Gözlənilən illik Zərər modeli əsasında hesablanmışdır.

Bu nəticələr çox vacib fərqi göstərir. Bank ödəniş infrastrukturu yüksək dəyərə malik olsa da, onun aşkarlama və bərpa qabiliyyəti daha yaxşı qiymətləndirildiyi üçün gözlənilən illik zərəri enerji sistemindən aşağıdır. Enerji idarəetmə sistemində isə həm təsir yüksəkdir, həm də aşkarlama və bərpa göstəriciləri zəifdir. Buna görə də onun gözlənilən illik zərəri 11.09 milyon AZN kimi çıxır.

Bu nəticə risk menecmenti baxımından daha real qərar verməyə imkan yaradır. Əgər yalnız aktivin dəyərinə baxsaq, bank sistemi birinci yerdə görünə bilər. Amma ehtimal və təsir birlikdə hesablandıqda enerji sistemi daha böyük prioritet olur.

## 12. Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra yenidən qiymətləndirmə

Modelin daha maraqlı tərəfi odur ki, risk azaldıcı tədbirlərdən sonra nəticələri yenidən hesablamaq mümkündür. Bu mərhələdə aşağıdakı tədbirlərin tətbiq olunduğu qəbul edilir:

1. Kritik sistemlər üçün SOC monitorinqinin gücləndirilməsi;
2. Offline ehtiyat nüsxələrin yaradılması;
3. Təchizatçı təhlükəsizlik auditinin aparılması;
4. Çoxfaktorlu autentifikasiyanın tətbiqi;
5. SCADA sistemlərində şəbəkə segmentasiyası;
6. Dövlət buludunda məlumat təsnifatı və lokal ehtiyat siyasəti;
7. İnsidentlərə cavab planının yenilənməsi;
8. Rəhbər və texniki heyət üçün praktiki kiber təlimlər.

Bu tədbirlərdən sonra bəzi göstəricilərin yaxşılaşdığı qəbul edilmişdir: zəiflik səviyyəsi azalır, aşkarlama və bərpa qabiliyyəti artır, idarəetmə yetkinliyi yüksəlir və xarici asılılıq qismən azalır.

**Cədvəl 8. Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra KSRI müqayisəsi**

| No | Aktiv                            | İlkin KSRI | Tədbirlərdən sonra KSRI | Azalma balı | Yeni risk səviyyəsi |
|----|----------------------------------|------------|-------------------------|-------------|---------------------|
| 1  | Elektron hökumət portalı         | 75.2       | 62.8                    | 12.4        | Yüksək              |
| 2  | Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 82.8       | 66.0                    | 16.8        | Yüksək              |
| 3  | Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 84.0       | 64.4                    | 19.6        | Yüksək              |
| 4  | Bank ödəniş infrastrukturu       | 68.4       | 60.8                    | 7.6         | Yüksək              |
| 5  | Dövlət bulud platforması         | 82.4       | 64.8                    | 17.6        | Yüksək              |
| 6  | Səhiyyə informasiya sistemi      | 78.4       | 56.8                    | 21.6        | Orta                |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli əsasında hesablanmışdır.

Cədvəl 8 göstərir ki, risk azaldıcı tədbirlərdən sonra bütün aktivlərdə risk azalır. Ən böyük azalma səhiyyə informasiya sistemində müşahidə olunur. Bunun səbəbi odur ki, ilkin mərhələdə aşkarlama, bərpa və idarəetmə göstəriciləri zəif idi. Bu göstəricilər yaxşılaşdırıldıqda risk sürətlə aşağı düşür.

Enerji idarəetmə sistemi üzrə risk 84.0-dan 64.4-ə düşür. Bu ciddi azalmadır, lakin risk hələ də yüksək səviyyədə qalır. Bu nəticə göstərir ki, bəzi sistemlərdə bir dəfəlik müdaxilə kifayət deyil. Xüsusilə enerji, dövlət buludu və vətəndaş məlumat bazası kimi aktivlər daimi monitoring və yüksək səviyyəli qoruma tələb edir.

### 13. Gözlənilən illik zərərin tədbirlərdən sonra dəyişməsi

**Cədvəl 9. Tədbirlərdən sonra gözlənilən illik zərərin müqayisəsi**

| No | Aktiv                            | İlkin GİZ, mln AZN | Tədbirlərdən sonra GİZ, mln AZN | Azalma, mln AZN |
|----|----------------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1  | Elektron hökumət portalı         | 2.00               | 0.75                            | 1.25            |
| 2  | Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | 4.99               | 1.28                            | 3.71            |
| 3  | Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | 11.09              | 2.13                            | 8.96            |
| 4  | Bank ödəniş infrastrukturu       | 2.93               | 2.40                            | 0.53            |
| 5  | Dövlət bulud platforması         | 4.68               | 1.60                            | 3.08            |
| 6  | Səhiyyə informasiya sistemi      | 4.10               | 0.77                            | 3.33            |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən Gözlənilən illik Zərər modeli əsasında hesablanmışdır.

Bu cədvəl işin ən vacib nəticələrindən biridir. Çünki burada risk azaldıcı tədbirlərin real iqtisadi effekti görünür. Ən böyük zərər azalması enerji idarəetmə sistemindədir: 11.09 milyon AZN-dən 2.13 milyon AZN-ə düşür. Bu, 8.96 milyon AZN-lik şərti zərər azalması deməkdir.

Bu nəticəyə görə, əgər dövlətin məhdud kibertəhlükəsizlik büdcəsi varsa, ilk investisiya enerji idarəetmə sisteminin təhlükəsizliyinə yönəldilməlidir. İkinci prioritet vətəndaş fərdi məlumat bazası, üçüncü prioritet isə səhiyyə informasiya sistemi və dövlət bulud platformasıdır.

Bank ödəniş infrastrukturu üzrə zərər azalması nisbətən azdır. Bu, bank sisteminin əhəmiyyətsiz olması demək deyil. Əksinə, ilkin qiymətləndirmədə bu sistemin aşkarlama və bərpa qabiliyyəti daha yüksək olduğu üçün əlavə tədbirlərin marginal təsiri daha az görünür.

### 14. Prioritetləşdirmə matrisi

Risqlərin idarə olunmasında əsas məsələ hansı sahəyə birinci müdaxilə edilməsini düzgün müəyyən etməkdir. Bunun üçün iki göstərici birlikdə nəzərə alınır:

1. İlkin KSRI;
2. Gözlənilən illik zərər.

**Cədvəl 10. Kritik aktivlərin prioritetləşdirilməsi matrisi**

| Prioritet     | Aktiv                            | Əsas səbəb                                 | Təklif olunan ilkin tədbir                              |
|---------------|----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| I prioritet   | Enerji idarəetmə sistemi — SCADA | Ən yüksək GİZ və kritik KSRI               | Şəbəkə segmentasiyası, SOC monitorinqi, bərpa planı     |
| II prioritet  | Vətəndaş fərdi məlumat bazası    | Məlumat sızması riski və yüksək təsir      | Şifrələmə, giriş nəzarəti, DLP sistemi                  |
| III prioritet | Dövlət bulud platforması         | Xarici asılılıq və yüksək məruzqalma       | Hibrid bulud, məlumat lokalizasiyası, təchizatçı auditi |
| IV prioritet  | Səhiyyə informasiya sistemi      | Zəif aşkarlama və bərpa qabiliyyəti        | Backup, incident response, tibbi məlumatların qorunması |
| V prioritet   | Elektron hökumət portalı         | Xidmət əlçatanlığı və vətəndaş etimadı     | Anti-DDoS, xidmət davamlılığı planı                     |
| VI prioritet  | Bank ödəniş infrastrukturu       | Yüksək dəyər, lakin nisbətən yaxşı nəzarət | Davamlı audit və sektorlararası koordinasiya            |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən KSRI və GİZ nəticələrinin müqayisəsi əsasında hazırlanmışdır.

Bu matrisə göstərir ki, prioritetləşdirmə yalnız “hansı sistem daha böyükdür?” sualı ilə aparılmamalıdır. Əsas məsələ sistemin həm risk balı, həm də potensial illik zərəridir. Enerji sistemi bu iki göstəricidə də önə çıxdığı üçün birinci prioritet hesab olunur.

### 15. Təhlil və müzakirə

Aparılan hesablamalar göstərir ki, kibersuverenlik riskləri yalnız texniki göstəricilər əsasında qiymətləndirildikdə tam mənzərə görünür. Məsələn, bank ödəniş infrastrukturu yüksək aktiv dəyərinə malikdir, lakin aşkarlama və bərpa qabiliyyəti nisbətən yaxşı olduğu üçün yekun gözlənilən zərəri enerji sistemindən aşağı çıxır. Bu, risk idarəetməsində müdafiə və bərpa qabiliyyətinin nə qədər vacib olduğunu göstərir.

Enerji idarəetmə sisteminin ən yüksək prioritet çıxması təsadüfi deyil. Belə sistemlərdə kiberhücum yalnız informasiya itkisi yaratmır, real fiziki nəticələr də doğura bilər. Elektrik təchizatının pozulması, sənaye proseslərinin dayanması və ictimai xidmətlərin axsaması dövlətin idarəetmə qabiliyyətinə birbaşa təsir edir. Buna görə də enerji infrastrukturu kibersuverenliyin ən həssas sahələrindən biri hesab olunmalıdır.

Vətəndaş fərdi məlumat bazası üzrə riskin kritik çıxması da məntiqlidir. Çünki fərdi məlumatların sızması geri qaytarılması mümkün olmayan nəticə yaradır. Dövlət sonradan sistemi bərpa edə bilər, amma sızmış məlumatlar artıq kibercinayətkarların, xarici aktorların və ya manipulyasiya şəbəkələrinin əlində qala bilər. Bu isə uzunmüddətli sosial və hüquqi nəticələr doğurur.

Dövlət bulud platforması üzrə riskin yüksək olması xarici asılılıq göstəricisi ilə bağlıdır. Bulud texnologiyası özü problem deyil. Problem odur ki, dövlət kritik məlumatlarını hansı hüquqi rejimdə, hansı texniki şərtlərlə və hansı təchizatçı nəzarəti altında saxladığını dəqiq bilmirsə, kibersuverenlik zəifləyir. Ona görə də dövlət buludu üçün məlumat təsnifatı, lokal ehtiyat sistemi və təchizatçı auditləri vacibdir.

Səhiyyə informasiya sistemi üzrə risk azaldıcı tədbirlərdən sonra ən böyük yaxşılaşmalardan biri müşahidə olunur. Bu onu göstərir ki, bəzi sahələrdə riskin yüksək olması sistemin mahiyyətindən çox, idarəetmə zəifliyi ilə bağlıdır. Yəni düzgün backup, bərpa planı, giriş nəzarəti və monitorinq sistemi qurularsa, risk əhəmiyyətli dərəcədə azala bilər.

### 16. Təklif olunan konseptual model

Bu tədqiqatın nəticələrinə əsasən kritik informasiya infrastrukturlarında kibersuverenlik aşağıdakı beş mərhələli model əsasında idarə oluna bilər:

**Cədvəl 11. Kritik informasiya infrastrukturuları üçün beşmərhələli kibersuverenlik modeli**

| Mərhələ     | Adı                            | Əsas məzmun                                                     | Nəticə                                    |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| I mərhələ   | Aktivlərin müəyyənləşdirilməsi | Kritik sistemlər, məlumat bazaları və xidmətlər siyahıya alınır | Nə qorunmalıdır sualına cavab verilir     |
| II mərhələ  | Risk ölçülməsi                 | KSRI və GİZ modelləri tətbiq olunur                             | Risqlər bal və maliyyə təsiri ilə ölçülür |
| III mərhələ | Prioritetləşdirmə              | Risqlər təsir və ehtimala görə sıralanır                        | Resurslar düzgün bölüşdürülür             |
| IV mərhələ  | Müdaxilə tədbirləri            | Texniki, hüquqi və idarəetmə tədbirləri tətbiq olunur           | Risk səviyyəsi azaldılır                  |
| V mərhələ   | Yenidən qiymətləndirmə         | Tədbirlərdən sonra risk təkrar hesablanır                       | Tədbirlərin effektivliyi ölçülür          |

**Mənbə:** Müəllif tərəfindən tədqiqat nəticələri əsasında hazırlanmışdır.

Bu modelin üstünlüyü ondadır ki, o, kibersuverenliyi sadəcə strateji şüar kimi saxlamır. Onu ölçülə bilən və idarə edilə bilən prosesə çevirir. Dövlət qurumu hansı sistemin daha riskli olduğunu, hansı müdaxilənin daha çox fayda verdiyini və hansı sahədə əlavə investisiya lazım olduğunu bu model əsasında görə bilər.

## NƏTİCƏ

Aparılan tədqiqat göstərdi ki, kibersuverenlik mövzusu yalnız nəzəri və hüquqi yanaşma ilə məhdudlaşdırıldıqda onun real idarəetmə dəyəri zəif qalır. Dövlətin rəqəmsal suverenliyini qorumaq üçün risklər ölçülməli, müqayisə edilməli və prioritetləşdirilməlidir. Bu baxımdan təklif olunan Kibersuverenlik Risk İndeksi Modeli və Gözlənilən illik Zərər modeli kritik informasiya infrastrukturalarında risklərin daha obyektiv təhlilinə imkan verir.

Hesablamalar göstərdi ki, ən yüksək kibersuverenlik riski enerji idarəetmə sistemi, vətəndaş fərdi məlumat bazası və dövlət bulud platforması üzrə müşahidə olunur. Bu aktivlər üzrə riskin yüksək olmasının əsas səbəbi onların dövlət idarəçiliyi, milli təhlükəsizlik, məlumat suverenliyi və ictimai etimadla birbaşa bağlı olmasıdır.

Enerji idarəetmə sistemi üzrə KSRI 84.0, gözlənilən illik zərər isə 11.09 milyon AZN kimi hesablanmışdır. Bu nəticə həmin sahənin birinci prioritet kimi qorunmalı olduğunu göstərir. Vətəndaş fərdi məlumat bazası və dövlət bulud platforması da kritik risk zonasına daxil olmuşdur. Bu isə məlumatların qorunması və xarici texnoloji asılılığın azaldılması məsələlərinin kibersuverenlik üçün əsas istiqamətlər olduğunu sübut edir.

Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra bütün aktivlər üzrə risk səviyyəsində azalma müşahidə edilmişdir. Xüsusilə enerji idarəetmə sistemi üzrə gözlənilən illik zərər 11.09 milyon AZN-dən 2.13 milyon AZN-ə enmişdir. Bu nəticə göstərir ki, düzgün seçilmiş təhlükəsizlik tədbirləri yalnız texniki müdafiəni deyil, həm də iqtisadi səmərəliliyi artırır.

Ümumilikdə, dövlətin kibersuverenliyinin gücləndirilməsi üçün aşağıdakı istiqamətlər əsas hesab edilməlidir:

1. Kritik informasiya infrastrukturalarının dəqiq siyahıya alınması;
2. Risklərin bal və maliyyə təsiri ilə ölçülməsi;
3. Enerji, məlumat bazaları və dövlət buludu üzrə prioritet müdafiə planlarının hazırlanması;
4. Aşkarlama və bərpa qabiliyyətinin artırılması;
5. Xarici texnoloji asılılığın azaldılması;
6. Təchizatçı təhlükəsizlik auditlərinin aparılması;
7. Dövlət qurumlarında risk əsaslı idarəetmə mədəniyyətinin formalaşdırılması;
8. Risk azaldıcı tədbirlərdən sonra təkrar qiymətləndirmənin aparılması.

Bu işin əsas elmi-praktiki dəyəri ondan ibarətdir ki, kibersuverenliyi abstrakt anlayış kimi deyil, ölçülə bilən idarəetmə problemi kimi təqdim edir. Bu yanaşma həm akademik tədqiqatlarda, həm də dövlət qurumlarının risk idarəetmə praktikasında istifadə oluna bilər.

#### ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Dövlətin kibersuverenliyi: nəzəri əsaslar, təhlükələr və risklərin qiymətləndirilməsi üzrə tədqiqat materialı.
2. NIST. *Cybersecurity Framework 2.0*. National Institute of Standards and Technology, 2024.
3. ISO/IEC 27001:2022. *Information Security Management Systems*. International Organization for Standardization.
4. Schmitt, M. N. *Tallinn Manual 2.0 on the International Law Applicable to Cyber Operations*. Cambridge University Press, 2017.
5. International Telecommunication Union. *Global Cybersecurity Index*. ITU.
6. ENISA. *Threat Landscape Report*. European Union Agency for Cybersecurity.
7. OECD. *Digital Security Risk Management for Economic and Social Prosperity*. OECD Publishing.
8. Von Solms, R., & Van Niekerk, J. *From Information Security to Cyber Security*. Computers & Security, 2013.
9. DeNardis, L. *The Global War for Internet Governance*. Yale University Press, 2014.
10. Azərbaycan Respublikasının informasiya təhlükəsizliyi və kibertəhlükəsizliyə dair 2023–2027-ci illər üçün Strategiyası.

## Chemical Sciences

# PREPARATION OF A COMPOSITION BASED ON PE FILLED WITH MINERAL COMPOUNDS AND MODIFIED WITH PVC

**Irade Abdullayeva Gurban**

Dr., Associate Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University

**Ramin Penahov Ramiz**

Azerbaijan State Oil and Industry University

**Abstract:** modern industry requires constant improvement of the technical and consumer properties of polymeric materials for the production of a wide range of products. Obtaining and researching the properties of polymer mixtures based on already known large-tonnage polymers in order to obtain new polymer materials and expand the range of products is promising, since obtaining materials with new properties by synthesis is a long and labor-intensive process. Since polyethylene and polyvinyl chloride are the most commonly used materials in the production of disposable packaging and containers compared to other large-tonnage polymers, the issue of recycling these two materials is very relevant. In this context, a lot of research is being carried out and is being carried out on the possibility of combining PVC and PE in an alloy and obtaining compositional products from them. The obtained indicators are analyzed using a number of research methods on the prepared sample. These indicators were analyzed by the method of swelling rate, zol-gel fraction analysis, infrared spectroscopy.

**Keywords:** mixed, modification

In modern industry, it is important to continuously improve both the technical and consumer properties of polymer materials for the production of various products. In order to obtain new materials and increase the range, it is considered more expedient to prepare mixtures based on large-tonnage polymers that are already widely used and study their properties. Because the synthesis of materials with completely new properties is both a long-term and labor-intensive process. One of such polymers widely used in industry is polyvinyl chloride (PVC). This material ranks third in the world in terms of its area of use after polyethylene and polypropylene. PVC-based mixtures and composites are widely used in the construction sector (for example, window profiles, floor coverings, stretch ceilings), as well as in the packaging of food and pharmaceutical products, in light industry (artificial leather, fabric processing) and in many other areas.

The majority of biodegradable polymers are synthesized from renewable raw materials - for example, from substances such as glucose, sucrose, methanol, ethanol, sugar cane molasses and whey. The absorption of carbon dioxide during the production of these raw materials is considered an important advantage. Polyvinyl chloride, on the other hand, has certain environmental advantages compared to polyolefins. Its high chlorine content reduces the consumption of hydrocarbons during synthesis, which reduces the environmental impact to some extent. In addition, blending PVC with polymers from renewable sources can increase its thermal stability. This, in turn, allows for a reduction in the amount of thermal stabilizers, which in some cases are undesirable from an environmental point of view. [1-7].



Polyvinyl chloride and an extremely wide range of vinyl plastics, plastic compounds, plastisols, powder compositions, etc. based on it occupy one of the leading places among large-tonnage industrial polymers in terms of production volume and application. The availability of raw materials and well-established industrial production, the characteristics of the supramolecular structure, the ability to increase the modification and the wide range of products used determine the effectiveness of the use of compositions in various industries, including mechanical engineering. PVC compositions are multicomponent systems and can consist of ten or more components, which is due not only to the need for materials with different technological and operational properties, but also to the specific properties of the polymer itself - the relatively low temperature of the onset of PVC decomposition and the increased viscosity of the melt. These features necessitate the use of modifying components in the formulation of compositions in the form of stabilizers, fillers, plasticizers and other targeted additives that provide increased thermal stability and processability of compositions, as well as the specified operational properties of products based on them. One of the main technological parameters determining the behavior of polymer compositions during processing is the value of the effective viscosity. With the introduction of relatively small doses of fillers, the mobility of structural units in the direction of sliding deformation increases due to the rupture of the connecting chains connecting the globular formations. This leads to a significant decrease in the viscosity of the melts of the compositions. As the filler content increases further, interstructural interactions occur with the formation of intermolecular bonds between macromolecules and the surface of dispersed particles. In this case, a certain volume of the polymer is immobilized by the surface of the fillers and interfacial phase layers are formed, which leads to a natural increase in the viscosity of the melts[8-9].

Since the degree index in the flow law is greater than 1, the tensile flow of composites under the conditions of the experiment is characterized by an increase in the value of the effective longitudinal viscosity during the development of the tensile process. The rheological behavior of high-density polyethylene and glass-filled composites was studied based on the methodology for studying the rheological properties of polymer materials under constant power stress in a bath containing a thermostatic fluid. It was shown that the uniaxial tensile (creep) process of polyethylene and its compounds can be adequately described within the framework of the Wagner model using the stepwise approach of the "tensile stress - strain rate" relationship. According to the results of the study of the rheological behavior of PKM based on polyethylene and glass microballoons, it was determined that the dependence of the effective value of the relative longitudinal viscosity on the filler composition is adequately described by the Arrhenius exponential model. The possibility of accounting for the effect of tensile stress in the generalized dependence of the effective longitudinal viscosity of PVC on the filler composition was demonstrated. It has been shown that the free shrinkage process (stress reduction) of the samples after stretching is adequately described by the Kohlrausch model[10-14].

The disadvantages characteristic of isocyanates are absent in compounds with blocked isocyanate end groups and begin to show activity as a result of blocking at the temperature at which adhesive bonds are formed between the adhesive and the substrate, which is 170-200°C. The presence of grafted and crosslinked polyisocyanate moieties in modified polymers determines structural and morphological changes and significantly affects their physical, mechanical and chemical properties compared to unmodified analogues. The authors' studies using optical methods allowed us to establish that the heterogeneity of the samples is determined by the size of the phase in which the polyisocyanate compounds are located and depends on the compatibility of the initial components. formed product [15-16].

For the preparation of modified polymer LLDPE class 158, LLDPE class 16803-080, LLDPE, Savilen class 11306-075 (Kazanorgsintez) (content of vinyl acetate groups from 10% to 15%), polyisocyanate class B (PIC), 4,4'-diamino-3,3'-dichlorodiphenylmethane (DC), 4,4'-

methylenediphenyldiisocyanate polyisocyanate, mass fraction of blocked isocyanate groups not less than 17.5%, talc, mica. Characteristics of the savilen: density 0.933 g/cm<sup>3</sup>; melt flow index at 190°C and 2.16 kgf: 5.0-10.0 g/10 min; mass fraction of vinyl acetate 10-14%, tensile strength at break - not less than 9.8 MPa; Relative elongation at break - not less than 600%. Co-monomer - MA: colorless rhombic crystals. Molecular weight: 98.06. Melting point (in °C): 52.8, density: 1.48 (20 °C, g/cm<sup>3</sup>).

Extrusion mixing of components was carried out as follows: a mixture of components (PE, PE-MA + Savilen) was fed from a dosing unit (dosing screw speed 10 rpm) to a Bersstorf continuous twin-screw extruder. loading zone and six zones with different temperature conditions. Talc, mica and PIC were fed manually through the opening in the loading zone simultaneously with the ingredients from the dosing unit. The amount of talc and additives was taken as suspensions calculated per minute of feed using the average extruder efficiency for the calculation.

Reagents II-V are melted at a temperature of 180-210°C, VII at 180-210°C for 4-5 minutes at a screw speed of 100 rpm. A wire head is used at the outlet. The extruder capacity was 4 kg/h. When LDPE is mixed with SEWA and 15% talc, it was observed that the adhesion depends on the SEWA content. When the percentage of SEWA is reduced from 40 to 20 in the composition with unchanged talc content (15%), the adhesion strength decreases from 6 to 2 N/cm. When the filler content (talc) is increased to 20%, the bonding strength is approximately 1.8 N/cm and does not change much depending on the type of polymer (samples 4-6). When the amount of filler (talc) is reduced to 10% and the polymer content increases, the adhesion of the compositions increases, in the samples it is 8-9 N/cm (samples 7-9). The maximum result was achieved using PIC 3 with the same sample composition, therefore other compositions were prepared using this composition. High adhesion values were achieved when 10% mica was used as a filler. Compositions prepared with PE-MA as a modifier showed the highest adhesion strength. The adhesion value is 21-24 N/cm and is comparable to the adhesion values of industrial imported adhesives used for pipe coating. As industrial production in various fields of technology and technology continues to grow intensively, great attention is paid to the use of new polymer composite materials with high performance characteristics. The need for construction products based on polymer composites is due to a combination of unique quality characteristics that not only ensure high product quality, but also contribute to a significant increase in the productivity of production units using the method of production and extrusion molding [17-20].

The development of technology for obtaining nanoparticles as plastic fillers has opened up more promising opportunities for seriously improving the properties of nanocomposites [21-24]. In this article, the main focus is on the development of highly crystalline high-density polyethylene (HDPE) and the study of electrically conductive polymer nanocomposites based on it using various types of carbon-containing fillers: techarbon and graphite. Despite the large number of works in this area, the lack of a systematic approach to studying the regularity of changes in electrical conductivity of carbon fillers and the effect on the properties of nanocomposites does not allow to develop new scientific approaches to interpret the mechanism of chain development [25-27]. Many authors explain this situation by the fact that research in this area sometimes contradicts itself, which does not allow to create a unified development together. Therefore, the aim of this work was to systematize the studies using a number of carbon black and graphite-based fillers based on current trends in the study of electrically conductive nanocomposites. In this section, the effect of various nanolayers and graphite samples on the electrical conductivity, as well as some physical and mechanical properties of the composites, was investigated in order to determine the effectiveness of electrically conductive fillers. Therefore, the aim of this work was to systematize the studies using a number of carbon black and graphite-based fillers based on current trends in the study of electrically conductive nanocomposites. In this section, the effect of various nanolayers and graphite samples on the electrical conductivity, as well as some physical and

mechanical properties of the composites, was investigated in order to determine the effectiveness of electrically conductive fillers[28-31].

In this study, the technology and properties of polyethylene-based compositions filled with mineral compounds and modified with PVC were studied. The study showed that the addition of mineral fillers and PVC significantly increases the mechanical strength and thermal stability of the material. At the same time, achieving a more homogeneous distribution in the structure of the composition improves its operational properties. The results show that this type of composites has promising application opportunities in industry, especially in the construction and packaging sectors. Thus, the obtained materials can be evaluated as an efficient alternative from both an economic and functional point of view. By performing certain transformations on PE, it is possible to obtain polymer mixtures with high physical, mechanical and operational properties

## References

1. Н.А. Лавров, Е.В. Белухичев. Полимерные смеси на основе поливинилхлорида. Пластические массы, №3-4, 2020, p. 55-61
2. Ash M., Ash I. Handbook of Plastic and Rubber Additives. – Synapse Information Resources, 2013. – 2139 p.
3. Behboudi A., Jafarzadeh Y., Yegani R. Polyvinyl chloride polycarbonate blend ultrafiltration membranes for water treatment Journal of Membrane Science. 2017. № 534. – P. 18-24.
4. Kann Y., Padwa A. PVC Modification with Biobased Poly(hydroxyalkanoates) Journal of Vinyl & Additive Technology. 2015. № 21. – P. 259-271.
5. Kim J.K., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2010, 176 p.
6. Suresh S.S., Mohanty S., Nayak S.K. Preparation and characterization of recycled blends using Poly(vinyl chloride) and Poly(methyl methacrylate) recovered from waste electrical and electronic equipments Journal of Cleaner Production. – 2017. № 149, P. 863-873.
7. Muthu S.S. The Carbon Footprint Handbook. CRC Press, 2016. – 533 p.
8. Гузеев В.В. Структура и свойства наполненного поливинилхлорида. СПб.: Научные основы и технологии, 2012, 284 с.
9. Штаркман Б.П. Основы разработки термопластичных полимерных материалов. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2004. 328 с.
10. Fridman M.L., Sevruck V.D. Extension of molten polymers. Advances in Polymer Science, 1990. v. 93, P. 1-40.
11. Münstedt H. Extensional Rheology and Processing of Polymeric Materials International Polymer Processing, 2018, Vol.3, N5, p. 594–618.
12. Фам К.З., Суриков П.В. Реологические свойства дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов на основе полиэтилена, содержащего стеклянные микрошарики Пластические массы. 2021, № 7–8. С. 35-38.
13. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. Пер. с англ. - СПб.: Профессия. 2007. 560 с
14. Wagner M.H., Rolon-Garrido V.H. Constant force elongation flow of polymer melts: Experiment and modelling Journal of Rheology. 2012. Vol. 56, N5. P. 1279-1297.
15. М.Д. Сизова, А.Н. Зеленецкий, В.Я. Иволгин. Получение модифицированных клеевых композиций на основе сэвилена и модифицированного ПЭ, пластические массы, №1-2, 2020.
16. Темникова Н.Е., Русанова С.Н., Стоянов О.В. Клеевые соединения сталь-адгезив-сталь на основе модифицированных сополимеров этилена Вестник Казанского технологического университета. Химия. №4. 2014. с.151-152
17. Д. Нвабумбы, Т. Кю. Композиты на основе полиолефинов. СПб: ИЛ «Научные основы и технологии» 2014, 744 с.

18. Kakhramanov N.T., Allahverdiyeva Kh.V., Mustafayeva F.A. Structure and Properties of Conducting Composites Based on Polyolefins and Carbon Black. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2022, Vol. 95, No.8, pp. 1146–1152.
19. Kakhramanov N.T., Allahverdiyeva Kh.V., Martynova G.S., Mustafayeva F.A., Gahramanli Y.N. New Approaches for the Interpretation of the Structure and Phase Transitions in Nanocomposites Based on Modified Polyolefins and Technical Carbon. *J.Chem.Soc.Pak.*, vol. 45, No.2, 2023, p. 119-127.
20. Алоев В.З., Жирикова З.М., Тарчокова М.А. Эффективность использования нанонаполнителей разных типов в полимерных композитах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020, т. 63, вып.4, с.81-85.
21. Liang J. X., Yang Q. Mechanical properties of carbon black filled high-density polyethylene antistatic composites *J. Re- inf. Plast. Compos.* 2008. V. 28. N3. P. 295–304. <https://doi.org/10.1177/0731684407081376>.
22. Allahverdiyeva Kh.V., Martynova G.S., Mustafayeva F.A., Gahramanli Y.N. Structural features and mechanism of crystallization of nanocomposites based on maleinated high density polyethylene and carbon black. *Heliyon*, 2023(9), e14829.
23. Kim J., Lee J., You J., Park M.-S., Hossain M. S. A., Yamauchi Y., Kim J. H. Conductive polymers for next-generation energy storage systems: recent progress and new functions. *Mater. Horiz.* 2016. V.3. №6. p.517–535. <https://doi.org/10.1039/C6MH00165C>.
24. Shi Y., Peng L., Ding Y., Zhao Y., Yu G. Nanostructured conductive polymers for advanced energy storage. *Chem. Soc. Rev.* 2015. V. 44. P. 6684–6696. <https://doi.org/10.1039/C5CS00362H>.
25. Wang X., Zhao J., Chen M., Ma L., Zhao X., Dang Z.-M., Wang Z. Improved self-healing of polyethylene/carbon black nanocomposites by their shape memory effect *J. Phys. Chem. B.* 2013. V. 117. P. 1467–1474. <https://doi.org/10.1021/jp3098796>.
26. Cheng X., Bao C., Wang X., Zhang F., Dong W. Soft surface electrode based on PDMS-CB conductive polymer for electrocardiogram recordings *Appl. Phys. A.* 2019. V. 125. ID 876. <https://doi.org/10.1007/s00339-019-3124-5>.
27. Gómez I. J., Sulleiro M. V., Mantione D., Alegret N. Carbon nanomaterials embedded in conductive polymers: A state of the art *Polymers*. 2021. V. 13. N 5. ID 745. <https://doi.org/10.3390/polym13050745>.
28. Paszkiewicz S., Szymczyk A., Zubkiewicz A., Subocz J., Stanik R., Szczepaniak J. Enhanced functional properties of low-density polyethylene nanocomposites containing hybrid fillers of multiwalled carbon nanotubes and nano carbon black *Polymers*. 2020. V. 12. N 6. ID 1356. <https://doi.org/10.3390/polym12061356>.
29. Zacccone M., Frache A., Torre L., Armentano I., Monti M.. Effect of filler morphology on the electrical and thermal conductivity of PP carbon-based nanocomposites *J. Compos. Sci.* 2021. V. 5. N 8. ID 196; <https://doi.org/10.3390/jcs5080196>.
30. Zhang Q., Wang J., Zhang B.-Y., Guo B.-H., Yu J., Guo Z.-X. Improved electrical conductivity of polymer/carbon black composites by simultaneous dispersion and interaction-induced network assembly *Compos. Sci. Technol.* 2019. V. 179. P. 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.05.008>.
31. Yang J., Liang J. A modified model of electrical conduction for carbon black–polymer composites *Polym.Int.* 2010. V. 60. P. 738–742. <https://doi.org/10.1002/pi.3002>.

# STUDY OF THE MECHANISM OF OXYCHLORINATION OF ETHYLENE-PROPYLENE ELASTOMER

Dr Ayrarova Tamara

Associate Professor, Azerbaijan State Oil and Industry University

Yusifli Nazakat Sabuhi

Azerbaijan State Oil and Industry University

Ethylene-propylene copolymers possess high chemical resistance, elasticity, and durability against environmental factors. However, their modification—specifically through the oxychlorination method—opens opportunities for the targeted alteration of their properties, thereby expanding their potential for industrial application.

In light of increasing requirements for environmental safety, the development of energy-efficient and ecologically safe oxychlorination methods is of particular importance. Researching the oxychlorination processes of ethylene-propylene based organic compounds contributes to the advancement of scientific understanding and the creation of novel materials.

This article examines the mechanism of oxidative chlorination of ethylene-propylene elastomers.

**Key words:** Oxychlorination, ethylene-propylene elastomer, mechanism of the oxidative chlorination process, functional groups, improvement of properties.

**Introduction.** Ethylene-propylene based organic compounds are industrially significant materials that have been extensively studied in recent decades due to their insensitivity to oxygen, ozone, acids, and alkalis, as well as the absence of double bonds in the polymer backbone.

In recent years, the rapid development of the automotive, construction, and other industrial sectors has led to an increased demand for ethylene-propylene rubber. In Azerbaijan, ethylene-propylene rubber is utilized in the automotive industry, for the production of waterproofing materials, wires and cables, as well as oil and polyolefin modifiers, among other applications.

The study and investigation of ethylene-propylene polymer characteristics allow for a more effective utilization of its unique properties. This facilitates a more efficient approach to the processing and recycling of rubber waste, reduces raw materials costs for ethylene-propylene rubber production, expands its areas of application, and ensures further progress in the field.

**Objective.** This study examines the mechanism of introducing functional groups into the structure of an ethylene-propylene elastomer using oxychlorination at low temperatures to improve its physicochemical properties. The impact of the introduced functional groups on the material's performance characteristics, such as polarity, adhesion, thermal-oxidative stability, and reactivity, is examined. It is revealed that the formation of active sites in the polymer structure improves the potential for further chemical modification, including cross linking, copolymerization, and surface functionalization.

The influence of process parameters, such as temperature, reaction mixture composition, reagent ratio, etc., is also examined.

The obtained results can serve as a basis for developing new types of functionalized elastomer materials with desired properties, as well as for improving existing materials. Modifying ethylene-propylene elastomer using oxychlorination expands its practical applications by

increasing polarity, adhesion, thermal and chemical resistance, and by forming reactive sites in the material. This allows it to be used not only as an elastomer, but also as a functional component.

Chlorination is a vital reaction in organic chemistry due to the extensive industrial application of chlorine substituted organic compounds. Consequently, numerous methods for the chlorination of organic compounds are well-known. However, most of these methods rely on the use of organic solvents, which negatively impact the environment and possess drawbacks such as long process durations, high temperatures, and the necessity of catalysts.

Therefore, there is a demand for the development of an effective method that is free from organic solvents, economically viable, and simple to implement. Furthermore, one of the principles of green chemistry is the total elimination of solvents or the replacement of hazardous solvents with environmentally safe alternatives. Peroxide (hydrogen peroxide solution) is the most promising solvent/medium, as it is readily available, non-flammable, non-toxic, and can facilitate the easy separation of reagents or catalysts from many organic compounds. For this reason, the oxidative chlorination process was developed.

Oxychlorination is a complex chemical process used to produce chlorinated organic compounds.

The chemical mechanism of oxychlorination is a multi-component and multi-stage heterogeneous catalytic process involving numerous interconnected reactions. In the oxychlorination process, the catalyst plays a dual role: it acts simultaneously as a source of active chlorinating species and as a platform for the activation of the organic molecule.

A large number of new and improved catalytic systems have been developed to carry out the oxychlorination process.

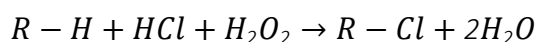
Catalysts in the oxychlorination process must possess high selectivity and activity, and they must ensure the stability of the chemical reaction.

The oxychlorination of ethylene-propylene based organic compounds is a vital stage in the industrial production of organochlorine compounds.

A structural feature of EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) is the presence of a saturated hydrocarbon backbone and distinct reactive sites (double bonds) localized in the side fragments of the macromolecule. These specific sites determine the possibility of functionalization reactions, including oxidation and chlorination processes.

A concentrated solution of hydrogen chloride with a mass fraction of approximately 36% was used as the chlorine source in this work. This reagent plays a key role in oxychlorination processes, ensuring the formation of active chlorine-containing intermediates. Hydrogen chloride actively interacts with the organic polymer matrix, facilitating the introduction of chlorine atoms into the macromolecule structure. In this study, *HCl* is utilized not only as a reagent but also as a catalyst.

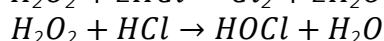
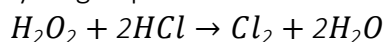
The generalized equation for the oxychlorination of ethylene-propylene elastomer can be represented as follows:



Let's consider the reaction mechanism for the oxychlorination of ethylene-propylene elastomer.

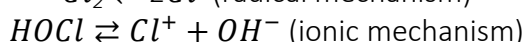
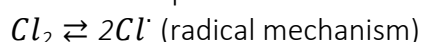
1. Formation of a chlorinating agent.

In an acidic environment, hydrogen peroxide reacts with *HCl*



2. Formation of active species.

Dissociation and the formation of active species occur.



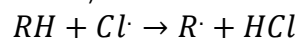
3. Interaction with polymer



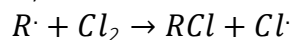
Ethylene unit:  $-CH_2 - CH_2 -$  Propylene unit:  $-CH_2 - CH(CH_3) -$

a) Radical substit (at hydrogen atoms):

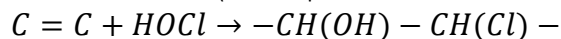
Stage I (formation of a macroradical)



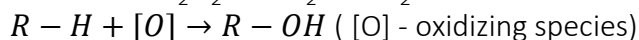
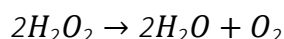
Stage II (bond formation  $C - Cl$ )



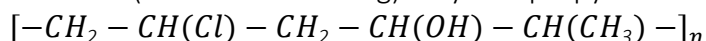
b) Addition across the double bond (in the presence of unsaturated units in EPDM)



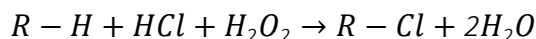
4. Side reactions may occur, including hydrogen peroxide decomposition and polymer oxidation.



As a result, a functionalized (chlorine-containing) ethylene-propylene elastomer is formed.



The generalized equation for the oxychlorination of ethylene-propylene elastomer can be represented as follows:



The use of perhydrol (hydrogen peroxide) as an oxidizing agent helps to lower the process temperature, increase selectivity, and reduce energy costs. Distilled water, meeting standard laboratory practice requirements, was used as solvent and auxiliary medium.

Thus, modern approaches to the oxychlorination of ethylene-propylene compounds involve the integration of environmental and energy-efficient solutions, including recycling, catalyst-aided reduction of reaction temperatures, and heat recovery. These measures simultaneously improve process efficiency, reduce pollutant emissions, and lower production energy costs.

The presence of chlorine- and oxygen- containing groups enhances adhesion to various surfaces, making the material effective for use in adhesives, protective coating, etc. The functionalized elastomer is widely used in polymer composite materials as a compatibilizer; specifically, it improves the interaction between incompatible polymers, such as in blends of polyolefins with more polar components. These elastomers are also extensively applied in the production of cable and insulation products due to their enhanced thermo-oxidative stability and high resistance to aggressive environments, making the suitable for use under high temperature and humidity conditions. Furthermore, they are widely utilized in the automotive and petrochemical industries for manufacturing seals, gaskets, hoses, and other products. A promising direction is their application in flame-retardant materials, as the presence of chlorine contributes to reduced flammability.

**Conclusion.** Based on the review of literature data, it was established that oxychlorination is one of the most promising methods for modifying organic compounds. It was found that in the oxychlorination of the elastomer, the use of perhydrol (hydrogen peroxide) provides milder reaction conditions, allowing the process to be carried out at low temperature (20°C, 40°C, and 80°C). The formation of hypochlorite intermediates plays a key role in the activation of the polymer chain. Lowering the temperature promotes higher selectivity and reduces the probability of side reactions, such as oxidative degradation. It was determined that ethylene-propylene elastomers, while possessing high chemical resistance and stability, are characterized by low reactivity, which limits the application of traditional modification methods. The introduction of chlorine-containing functional groups allows for a significant improvement in physicochemical properties and expands the range of potential applications.



## REFERENCES

1. S.K.Sharma, D.D.Agarwal; 2014. Oxidative Chlorination of Aromatic Compounds in Aqueous Media/Journal of Agriculture and Life Sciences Vol.1, No.1.
2. P.Maciej, J.Gaca; 2011. Oxychlorination of organic compounds/ Chemik 2011, 65,4,297-300
3. E.I.Gelperin, Yu.M.Bakshi, A.G.Zyskin, Yu.S.Snagovsky, A.K.Avetisov; 1966. Kinetics and Mechanism of Ethylene Oxychlorination /Russian Chemical Industry, Vol.28, No.6
4. A.Montebelli, C.Orsenigo, N.Ballarini, E.Tronconi; 2023. Kinetic and Modelling Study of the Ethylene Oxychlorination to 1,2-Dichlorethane in Fluidized-Bed Reactors / Industrial&Engineering Chemistry Research
5. H.Ma, Y.Wang, Y.Qi, K.R.Rout, D.Chen; 2020. Critical Review of Catalysis for Ethylene Oxychlorination / ACS Catal., 10
6. S.A.Kurta, I.M.Mykytyn, O.M.Khatsevich, S.V.Fedorchenko; 2014. Active centers of catalysts for the oxidative chlorination of ethylene to 1,2-dichlorethane / Departament of Chemistry
7. N.Fayzullayev, D.Kurbanova, S.Bobomurodova, D.Muradova; 2023. Obtaining vinyl chloride by oxychlorination of ethylene under the action of hydrogen chloride in the presence of oxygen
8. A.Montebelli, C.Orsenigo, N.Ballarini, E.Tronconi; 2023. Kinetic and Modelling Study of the Ethylene Oxychlorination to 1,2-Dichlorethane in Fluidized-Bed Reactors / Industrial&Engineering Chemistry Research = 5
9. M.R.Flidi; 2024. Oxidative chlorination of hydrocarbons. / Kataliz v promishlennosti
10. Z.Yao, D.Ma, Z.Xiao, W.Yang, Y.Tu, K.Cao; 2017. Solution copolymerization of ethylene and propylene by salicylaldehydederived catalysts: synthesis, characterization and reactivity ratio estimation / Royal Society of Chemistry
11. S.A.Kurta, A.A.Volinsky, M.S.Kurta; 2013. Environmentally - friendly organochlorine waste processing and recycling / Journal of Cleaner Production
12. J.Akintola, R.Patinvoh, O.Moradeyo, J.Akpain, G.Umoh, E.Wilson, Q.Moses, P.Udom, E.Osagie; 2025. Optimization and techno-economic evaluation of integrated process route for the synthesis of vinyl chloride monomer. / RSC Sustainability
13. L.Qi; 2015. The Application of Ethylene Propylene Rubber Production Technology Research / International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering.
14. Alan N.Gent, Rubber/ Britannica Encyclopedia
15. M.Salehi, K.Cornish, M.Bahmankar, M.R.Naghavi; 2021. Natural rubber-producing sources, systems, and perspectives for breeding and biotechnology studies.

## STUDY OF THE MECHANISM OF OXYCHLORINATION OF ORGANIC COMPOUNDS BASED ON ETHYLENE-PROPYLENE ELASTOMER

*Ayralova Tamara*

*Yusifli Nazakat*

*Summary*

This study examines the processes of introducing functional groups into the structure of ethylene-propylene elastomer by the method of oxychlorination at low temperatures in order to improve its physicochemical properties. This study examines the processes of introducing functional groups into the structure of ethylene-propylene elastomer by the method of oxychlorination at low temperatures in order to improve its physicochemical properties.

The effect of the introduced functional groups on the material's performance characteristics such as polarity, adhesion, thermo-oxidative stability, and reactivity is investigated. It has been established that the formation of active centers in the polymer structure enhances its potential for further chemical modification, including crosslinking, copolymerization, and surface functionalization processes.

The influence of technological process parameters such as temperature, composition of the reaction mixture, reagent ratios, and others has also been considered.

The obtained results can serve as a basis for the development of new types of functionalized elastomeric materials with desired properties, as well as for improving existing materials. Modification of ethylene-propylene elastomer by oxychlorination expands its practical applications due to increased polarity, adhesion, thermal and chemical resistance, as well as the formation of reactive centers within the material. This makes it possible to use it not only as an elastomer but also as a functional component.

# Investigation of the Oxidative Chlorination Process of Butylene-Based Organic Compounds

**Tamara Ayralova**

Associate Professor, PhD in Chemistry

**Zahra Suleyman Kazymbekova**

Azerbaijan State Oil and Industry University

## Abstract

This study investigates the features of low-temperature liquid-phase oxidative chlorination of butylene elastomer in the presence of the HCl–H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system. Hydrochloric acid (HCl) was used both as a chlorinating agent and catalyst, while perhydrol (a concentrated aqueous solution of hydrogen peroxide) acted as the oxidizing agent. The mechanisms of formation of the active chlorinating complex, as well as the influence of temperature, reagent concentration, and process duration on the degree of chlorination and the properties of the final product, were examined. It was shown that the HCl–H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system provides efficient chlorination of the elastomeric matrix without significant destruction of the polymer chain. The obtained results confirm the перспективность of the low-temperature liquid-phase method for producing modified butylene elastomers with improved physicochemical characteristics.

**Keywords:** butylene elastomer, oxidative chlorination, liquid-phase modification, hydrogen peroxide, hydrochloric acid, polymer functionalization, low-temperature synthesis.

## 1. Introduction

The modification of butyl rubber through chlorination significantly improves its vulcanization rate and adhesive properties while maintaining low gas permeability. Traditional industrial chlorination methods involving elemental chlorine possess several disadvantages, including high corrosiveness of the reaction medium, release of toxic hydrogen chloride emissions, and the risk of polymer chain degradation.

In recent years, targeted chemical modification of elastomeric materials has attracted considerable attention due to the possibility of regulating their physicochemical and operational properties. Among industrial elastomers, butylene rubber occupies a special position because of its high gas impermeability, moisture resistance, and satisfactory mechanical characteristics. However, the relatively low reactivity of its saturated hydrocarbon backbone limits further functionalization possibilities.

Butylene elastomers are widely used in sealing materials, tire manufacturing, chemically resistant coatings, and special-purpose products because of their elasticity, resistance to aggressive media, and low gas permeability. Nevertheless, the limited chemical activity of the saturated polymer chain significantly reduces the efficiency of subsequent modification processes.

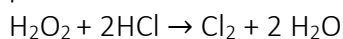
One of the most effective methods for modifying butylene elastomers is chlorination, which improves adhesion, thermal resistance, and chemical activity of the polymer. Of particular interest is oxidative chlorination carried out under mild conditions using the HCl–H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system. In this system, hydrochloric acid acts simultaneously as a chlorine source and catalyst, while hydrogen peroxide promotes the formation of active chlorine-containing intermediates.

Unlike conventional gas-phase chlorination, the low-temperature liquid-phase method reduces the probability of polymer chain degradation, decreases the formation of side products, and improves the selectivity of the process.

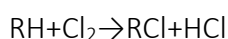
The aim of the present work was to investigate the regularities of liquid-phase oxidative chlorination of butylene elastomer at low temperatures and to determine the optimal process parameters ensuring maximum efficiency with minimal polymer degradation.

### Theoretical Background

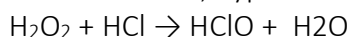
Oxidative chlorination is based on the interaction between hydrochloric acid and hydrogen peroxide with the formation of active chlorinating agents:



The molecular chlorine formed subsequently reacts with the organic substrate:

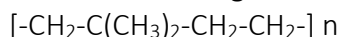


In acidic media, hypochlorite and oxychloride intermediates may also form:

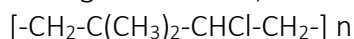


Active particles attack hydrocarbon fragments of the butylene elastomer, resulting in the substitution of hydrogen atoms by chlorine.

The structural fragment of butylene elastomer may be represented as:



During chlorination, chlorinated units are formed:



### Experimental Part

The object of the study was an industrial-grade butylene elastomer. Chlorination was carried out in the liquid phase using a glass reactor equipped with mechanical stirring and a cooling system.

A 10 g sample of elastomer was dissolved in 100 mL of toluene at 25 °C. After obtaining a homogeneous solution, the reaction system was cooled to 5–10 °C. Hydrochloric acid and perhydrol were then introduced sequentially under continuous stirring.

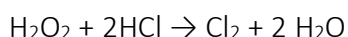
#### Reagents

- butylene elastomer;
- hydrochloric acid (35%);
- perhydrol (30–37%  $\text{H}_2\text{O}_2$ );
- organic solvent;
- distilled water.

#### Experimental Procedure

The butylene elastomer sample was dissolved in an organic solvent under constant stirring. After complete homogenization, the mixture was cooled to 0–10 °C. Hydrochloric acid and perhydrol were gradually added.

The primary reaction for the formation of active chlorinating species proceeded directly in the reaction medium:



The process duration varied from 2 to 5 hours. Upon completion of the reaction, the product was precipitated, washed to neutral pH, and dried at reduced temperature.

The studies demonstrated that temperature significantly influences both the rate and selectivity of chlorination. At temperatures above 20 °C, an increase in polymer chain degradation and a decrease in molecular weight were observed.

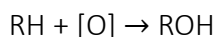
The most efficient process occurred within the temperature range of 5–10 °C. Under these conditions, uniform distribution of chlorine atoms within the polymer structure and minimal formation of side products were achieved.

It was established that increasing the concentration of perhydrol enhanced the degree of chlorination due to the increased amount of active chlorine species.



Hypochlorous acid formed within the system additionally participated in substitution and oxidation reactions.

At excessive  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations, the probability of oxidative degradation of macromolecules increased:



Therefore, the optimal molar ratio of  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2$  should ensure a sufficient concentration of active chlorine without excessive oxidation of the polymer.

Analysis of the obtained samples revealed improvements in:

- adhesive properties;
- resistance to oils and solvents;
- thermal stability;
- surface chemical activity.

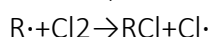
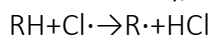
Chlorinated butylene elastomers exhibited enhanced compatibility with polar components and increased reactivity during vulcanization processes.

### Mechanism of the Process

The proposed mechanism of oxidative chlorination includes several stages:

1. Formation of active chlorine species;
2. Generation of radical or electrophilic chlorinating particles;
3. Attack on the hydrocarbon polymer chain;
4. Substitution of hydrogen atoms with chlorine;
5. Stabilization of the macromolecule.

Schematically, the process may be represented as follows:



The chain radical mechanism ensures continuous reaction progression even at relatively low temperatures.

### Effect of Temperature on the Degree of Chlorination

The obtained results demonstrate the significant influence of temperature on the chlorine content in the polymer.

| Temperature, °C | Reaction Time, h | Chlorine Content, % |
|-----------------|------------------|---------------------|
| 0               | 5                | 8.4                 |
| 5               | 4                | 12.7                |
| 10              | 4                | 15.3                |
| 20              | 3                | 17.1                |
| 30              | 3                | 18.0                |

Although the degree of chlorination increased with temperature, at 20–30 °C a noticeable decrease in solution viscosity was observed, indicating partial degradation of macromolecules.

### Effect of Hydrogen Peroxide Concentration

| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Concentration, mol/L | Chlorine Content, % | Weight Loss, % |
|----------------------------------------------------|---------------------|----------------|
| 0.5                                                | 7.2                 | 1.1            |
| 1.0                                                | 12.8                | 1.9            |
| 1.5                                                | 16.4                | 3.7            |
| 2.0                                                | 18.9                | 7.5            |

It was established that increasing the oxidizer concentration promotes higher chlorination levels; however, excessive H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> intensifies oxidative degradation processes.

## Conclusion

The regularities of liquid-phase oxidative chlorination of butylene elastomer in the HCl–H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system were investigated.

It was established that hydrogen peroxide effectively generates active chlorinating species directly in the reaction medium without the use of gaseous chlorine. The temperature regime was shown to strongly influence process selectivity and preservation of the polymer structure.

Optimal results were achieved at 5–10 °C, where efficient chlorination occurred with minimal degradation of macromolecules. Excessive oxidizer concentrations led to intensified oxidation side reactions and reduced stability of the polymer system.

The obtained chlorinated materials exhibited improved adhesion, enhanced chemical resistance, and greater compatibility with polar components. The developed approach may be applied in the production of functionalized elastomeric materials for special-purpose applications.

## References

1. Kopylov V.M. Chemical Modification of Elastomers. — Moscow: Khimiya, 2020.
2. Baranov A.P., Lebedev S.V. Chlorination Reactions of Organic Compounds. — Saint Petersburg: Nauka, 2019.
3. Odian G. Principles of Polymerization. — New York: Wiley, 2004.
4. Rodriguez F. Principles of Polymer Systems. — Taylor & Francis, 2018.
5. Walling C. Free Radicals in Solution. — Wiley-Interscience, 2015.
6. Korshak V.V., Vinogradova S.V. Chemistry and Technology of Polymers. — Moscow: Vysshaya Shkola, 2017.
7. Hiemenz P.C., Lodge T.P. Polymer Chemistry. — CRC Press, 2007.
8. Sperling L.H. Introduction to Physical Polymer Science. — Wiley-Interscience, 2005.
9. Fomin V.A. Oxidative Processes in Polymer Chemistry. — Saint Petersburg: Professiya, 2021.
10. Penczek S., Pretula J. Functional Polymers and Polymer Modification. — Elsevier, 2013.

## Political Studies

# КОНСТИТУЦИОННАЯ РЕФОРМА 2026 ГОДА: МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛНОМОЧИЙ КУРУЛТАЯ КАК ВЫСШЕГО ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

**Лузанов В.А.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова, Республика Казахстан, город Астана

**Кабдий Н.Г.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова, Республика Казахстан, город Астана

**Кенжебулатова А.М.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова, Республика Казахстан, город Астана

### Аннотация

В статье исследуется системная трансформация высшего представительного органа Республики Казахстан в контексте принятия новой Конституции на референдуме 15 марта 2026 года. Автор проводит детальный анализ правовых механизмов, наделяющих Курултай полномочиями по формированию исполнительной власти и осуществлению жесткого бюджетного контроля. Рассматривается переход от бикамеральной системы к унитарному высшему органу власти, а также анализируются риски и перспективы институционального взаимодействия в треугольнике «Президент — Курултай — Правительство».

**Ключевые слова:** Конституция 2026 года, Курултай, разделение властей, парламентский контроль, инвеститура, политическая ответственность, правовое государство.

Современный политический процесс в Казахстане, достигший своей кульминации в ходе всенародного референдума 15 марта 2026 года, представляет собой уникальный пример глубокой институциональной перестройки государственного аппарата. Переход к новой редакции Основного закона, вступающей в силу 1 июля 2026 года, знаменует собой не просто смену терминологии, но радикальную смену парадигмы властных отношений. Центральным элементом этой трансформации выступает учреждение Курултая Республики Казахстан как высшего представительного органа, аккумулирующего в себе функции не только законодательной власти, но и широкого политического контроля. Находясь в хронологической точке 10 мая 2026 года, юридическое сообщество стоит перед необходимостью осмысления того, каким образом заложенные в тексте Конституции нормы будут реализованы в условиях новой политической архитектуры.

Рассматривая статус Курултая сквозь призму статьи 52 новой Конституции, следует отметить качественное изменение его представительной природы. В отличие от прежней двухпалатной структуры, ориентированной на баланс между партийными интересами и региональными элитами, обновленный Курултай в составе 145 депутатов формируется на



основе единого общенационального округа. Это решение направлено на консолидацию политической воли народа и преодоление фрагментации законодательной власти. Как справедливо отмечает в своих трудах Г. С. Сапаргалиев, эффективность народного представительства в условиях модернизации определяется не громоздкостью структуры, а способностью органа оперативно выражать консолидированное мнение нации [4]. Компактный состав Курултая в сочетании с пятилетним сроком полномочий (ст. 53) призван обеспечить профессионализацию депутатского корпуса, что критически важно для реализации усложнившихся законодательных процедур.

Логическим продолжением изменения структуры становится глубокая перестройка механизмов взаимодействия с исполнительной ветвью власти. Конституция 2026 года вводит уникальный для отечественного права институт парламентской инвеституры, значительно ограничивающий прерогативы главы государства. Статья 46 п. 4 закрепляет обязательность консультаций Президента с фракциями Курултая при выдвижении кандидатуры Премьер-Министра. Однако ключевой механизм скрыт в требовании получения согласия большинства от общего числа депутатов для назначения не только главы Кабинета, но и новой политической фигуры — Вице-Президента (ст. 49). Таким образом, исполнительная власть обретает «двойную ответственность», становясь подотчетной как главе государства, так и высшему представительскому органу. Это создает ситуацию, при которой Правительство не может быть сформировано без учета воли парламентского большинства, что де-факто переводит республику в плоскость парламентско-президентского правления.

Переходя от вопроса формирования власти к механизмам её подотчетности, необходимо обратить внимание на исключительные полномочия Курултая в сфере бюджетного контроля. Статья 56 п. 16 устанавливает жесткую правовую связь между финансовой прозрачностью Правительства и его политической выживаемостью. Неутверждение Курултаем отчета об исполнении республиканского бюджета отныне является юридическим фактом выражения вотума недоверия всему составу Правительства. Данная норма превращает ежегодные бюджетные слушания из формальной процедуры в акт подтверждения легитимности исполнительной власти. В академическом дискурсе В. А. Малиновский указывает, что именно «право кошелька» является исторически первым и наиболее действенным инструментом парламентаризма, позволяющим ограничить административный произвол [2]. В рамках новой Конституции этот инструмент доведен до своего логического абсолюта.

Более того, контрольные функции Курултая дополняются правом на персональное воздействие на состав Кабинета министров. Статья 56 п. 17 наделяет депутатов правом требовать отставки любого члена Правительства в случае неисполнения им законов. Решение, принятое двумя третями голосов Курултая, становится обязательным для исполнения Президентом. Этот механизм создает ситуацию прямой персональной ответственности чиновников перед народными избранниками, что в корне меняет психологию государственного управления. Теперь министр выступает не как исполнитель воли «сверху», а как субъект, ответственный перед законом и его высшим представительным органом. Такая модель требует от политических партий более тщательного подхода к формированию своих кадровых резервов, поскольку любой провал в управлении повлечет за собой немедленную реакцию в стенах Курултая.

Институциональная устойчивость Курултая также подкрепляется его ролью в кадровом наполнении судебной и надзорной систем. Согласно статьям 46 и 56, назначение судей Конституционного Суда, членов Центральной избирательной комиссии и Высшей аудиторской палаты осуществляется Президентом исключительно с согласия Курултая. Это превращает Курултай в своеобразный «фильтр», гарантирующий независимость ключевых

арбитров государственной системы. При этом сама Конституция выстраивает сложную систему защиты от законодательного произвола. Статья 73 предоставляет Уполномоченному по правам человека и Генеральному Прокурору право обжаловать нормативные акты Курултая в Конституционном Суде. Таким образом, реализуется принцип «сдержек и противовесов», где Курултай, обладая огромными полномочиями, остается в рамках правового поля, очерченного Конституционным Судом.

Важным связующим звеном между Курултаем и гражданским обществом выступает Қазақстан Халық Кеңесі (Народный Совет), предусмотренный Разделом VI. Наличие у этого консультативного органа права законодательной инициативы (ст. 71) создает уникальный канал прямой демократии. Механизм реализации полномочий Курултая в этой части подразумевает обязательное рассмотрение инициатив Народного Совета, что институционализирует диалог власти и общества. Это предотвращает риск превращения Курултая в закрытую элитарную корпорацию, постоянно подпитывая законодательный процесс актуальными запросами населения. В теории конституционализма подобное взаимодействие рассматривается как способ повышения «социальной легитимности» принимаемых законов [3].

Завершая анализ механизмов реализации полномочий Курултая, следует подчеркнуть, что Конституция 2026 года заложила фундамент для перехода к новой политической культуре. С 1 июля 2026 года, когда согласно статье 94 нормы Основного закона вступят в силу, Курултай превратится в главный политический штаб страны. Однако успех этой реформы будет зависеть не только от текста статей, но и от способности новых политических сил эффективно использовать предоставленные рычаги. Анализ текущего состояния законодательства на 10 мая 2026 года показывает, что предстоит огромная работа по приведению регламентов и законов в соответствие с новой архитектурой власти (ст. 96). Тем не менее, институциональный каркас, созданный референдумом 15 марта, дает все основания полагать, что Курултай станет реальным гарантом демократического развития и верховенства закона в Республике Казахстан.

Подытоживая вышесказанное, можно констатировать, что Курултай в модели 2026 года является синтезом национальных традиций и современных демократических процедур. Его полномочия по формированию Правительства, контролю над бюджетом и влиянию на кадровый состав высших судов делают его ключевым субъектом государственной власти. В условиях разделения властей Курултай берет на себя роль основного представителя интересов народа, обеспечивая подотчетность исполнительной вертикали и гарантируя незыблемость основ конституционного строя.

### Список литературы

1. **Байгельди О.** Парламентаризм в Казахстане: становление и развитие. — Астана: Елорда, 2003. — 256 с.
2. **Малиновский В. А.** Президентская республика в Казахстане: опыт модернизации. — Нур-Султан: Институт законодательства и правовой информации РК, 2019. — 312 с.
3. **Оспанов К. И.** Государство и право Казахстана. — Алматы: Жеті жарғы, 2006. — 384 с.
4. **Сапарғалиев Г. С.** Конституционное право Республики Казахстан: Академический курс. — Алматы: Жеті жарғы, 2002. — 528 с.
5. **Зиманов С. З.** Конституция и Парламент Республики Казахстан. — Алматы: Жеті жарғы, 2001. — 280 с.

6. **Конституция Республики Казахстан** (принята на республиканском референдуме 15 марта 2026 года) // Официальный текст для вступления в силу с 01.07.2026 г.

# ПРЕОДОЛЕНИЕ КОРРУПЦИИ В КАЗАХСТАНЕ: УРОКИ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА И НАЦИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА

**Лузанов В.А.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова,  
Республика Казахстан, город Астана

**Кабдий Н.Г.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова,  
Республика Казахстан, город Астана

**Кенжебулатова А.М.**

сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.К.Кулажанова,  
Республика Казахстан, город Астана

## Аннотация

Статья посвящена исследованию антикоррупционного потенциала конституционной реформы 2026 года в Республике Казахстан. Автор анализирует механизмы институционального контроля, заложенные в полномочиях Курултая, а также новые конституционные ограничения для высших должностных лиц. В работе сопоставляются международные стандарты прозрачности (ОЭСР, ГРЕКО) с национальной спецификой государственного управления. Особое внимание уделено роли Конституционного Суда и Высшей аудиторской палаты как инструментов обеспечения подотчетности власти в рамках обновленного Основного закона.

**Ключевые слова:** антикоррупционная стратегия, Конституция 2026 года, Курултай, разделение властей, транспарентность, правовое государство, меритократия.

Проблема коррупции в современном правовом дискурсе рассматривается не просто как совокупность должностных преступлений, а как системный дефект государственного управления, подрывающий доверие к институтам власти. Для Казахстана, находящегося в точке исторического транзита, преодоление этого дефекта стало центральным вектором конституционного строительства. Референдум 15 марта 2026 года закрепил в преамбуле Основного закона стремление к «Справедливому Казахстану» и принципу «Закон и Порядок», что де-факто возвело антикоррупционную политику в ранг конституционной ценности. Научное осмысление этого процесса требует анализа того, как международный опыт превенции коррупции адаптируется к национальной почве, характеризующейся поиском баланса между сильной президентской властью и влиятельным народным представительством в лице Курултая.

Анализ международной практики, в частности опыта стран Сингапура и Скандинавии, показывает, что наиболее эффективным методом борьбы с системной коррупцией является не только ужесточение уголовного преследования, но и создание институциональных «фильтров», исключающих конфликт интересов. Новая Конституция Казахстана 2026 года имплементирует этот подход через статью 45, которая налагает прямой запрет на занятие должностей политических госслужащих и руководителей квазигосударственного сектора

близкими родственниками Президента. Это является важным шагом в сторону меритократии и преодоления патронажных сетей, которые в политической науке определяются как одна из главных причин «захвата государства» частными интересами. Как подчеркивает В. А. Малиновский, модернизация президентской республики в Казахстане неизбежно требует демонополизации кадровой политики и внедрения жестких правовых барьеров для nepoтизма [2].

Логическим продолжением этих мер выступает усиление контрольных функций Курултая, который с 1 июля 2026 года обретает статус высшего представительного органа. Статья 56 новой Конституции вводит механизм, при котором неутверждение отчета об исполнении бюджета автоматически влечет вотум недоверия Правительству. Это прямое воплощение уроков бюджетного парламентаризма стран ОЭСР. В данном контексте национальная специфика Казахстана проявляется в усилении роли Высшей аудиторской палаты, чей Председатель дважды в год отчитывается перед Курултаем. Такой механизм «постоянного аудита» минимизирует риски кулуарного распределения государственных средств. Академик С. З. Зиманов в своих исследованиях указывал, что реальный парламентаризм начинается там, где представительный орган обретает фактическую, а не формальную власть над государственным «кошельком» [5]. Именно эта доктрина легла в основу реформы 2026 года, превращая бюджет в прозрачный инструмент общественного договора.

Важным аналитическим аспектом является также расширение полномочий Конституционного Суда (Раздел VII), который становится барьером на пути коррупционного законотворчества. Международный опыт свидетельствует, что коррупция часто маскируется под легальные нормы, лоббируемые узкими группами интересов. В системе 2026 года право граждан на прямое обращение в Конституционный Суд (ст. 73) в сочетании с правом судов приостанавливать дела при обнаружении неконституционности законов (ст. 79) создает эшелонированную защиту от правового произвола. Это коррелирует с выводами Г. С. Сапаргалиева о том, что конституционный контроль является высшей формой защиты прав человека от административного ущемления, часто сопряженного с коррупционными мотивами [4]. Таким образом, Конституционный Суд выступает не просто как юридический арбитр, но как институт «санации» законодательства от норм, способствующих теневому обогащению должностных лиц.

Национальная специфика Казахстана в вопросах преодоления коррупции также ярко проявляется в институте «Қазақстан Халық Кеңесі» (Народного Совета), наделенного правом законодательной инициативы. Это позволяет гражданскому обществу напрямую влиять на повестку дня, обходя потенциально коррумпированные бюрократические фильтры в министерствах. Взаимодействие Курултая и Народного Совета создает атмосферу публичности, которая, по мнению международных экспертов ГРЕКО, является лучшим антисептиком против коррупции. Принцип открытости информации о финансовых потоках некоммерческих организаций (ст. 6 п. 5) дополняет эту картину, обеспечивая прозрачность и предотвращая иностранное вмешательство в политические процессы под видом благотворительности, что также является важным элементом национальной безопасности.

Интеграция цифровых технологий в государственное управление, поддерживаемая статьей 5 Конституции через создание специальных правовых режимов, позволяет Казахстану использовать опыт «цифровых государств» (таких как Эстония) для минимизации бытовой коррупции. Сокращение прямого контакта гражданина с чиновником в «городах ускоренного развития» переводит оказание услуг в сферу алгоритмов, где субъективное усмотрение заменяется объективными критериями. Это научный подход к превенции, основанный на теории «рационального выбора», где стоимость коррупционного поведения становится неприемлемо высокой по сравнению с легальным путем получения услуг.

Подводя итог, можно констатировать, что антикоррупционная архитектура Казахстана образца 2026 года представляет собой синтез жесткого институционального контроля и цифровой прозрачности. Преодоление коррупции в данной модели достигается не за счет создания чрезвычайных органов, а путем встраивания антикоррупционных предохранителей в саму ткань государственного устройства: от процедуры утверждения бюджета Курултаем до независимости Конституционного Суда. Успех реализации этих норм после 30 июня 2026 года будет зависеть от политической воли и гражданской активности, однако уже сегодня очевидно, что правовой фундамент новой Конституции создает все условия для трансформации Казахстана в современное правовое государство, свободное от системной коррупции.

### Список литературы

1. Ибрагимов Ж. И. Противодействие коррупции в Республике Казахстан: учебное пособие. — Алматы: Жеті жарғы, 2018. — 216 с.
2. Малиновский В. А. Президентская республика в Казахстане: опыт модернизации. — Нур-Султан: Институт законодательства и правовой информации РК, 2019. — 312 с.
3. Рогов И. И. Конституционный контроль в Казахстане: теория и практика. — Алматы: Раритет, 2010. — 344 с.
4. Сапаргалиев Г. С. Конституционное право Республики Казахстан: Академический курс. — Алматы: Жеті жарғы, 2002. — 528 с. (Классический учебник по основам строя РК).
5. Зиманов С. З. Конституция и Парламент Республики Казахстан. — Алматы: Жеті жарғы, 2001. — 280 с.
6. Конституция Республики Казахстан (принята на республиканском референдуме 15 марта 2026 года) // Официальный текст для вступления в силу с 01.07.2026 г.

# BETWEEN KNOWLEDGE AND POWER: THE EVOLVING NEXUS OF SCIENCE, ECONOMY, AND GOVERNMENT IN THE CONTEMPORARY WORLD

**Akhmet Elmira**

Master student, Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages

**Khairullayeva Venera**

Candidate of Philosophical sciences, PhD, Associate professor

## ABSTRACT

*This paper investigates the structural relationships between science, economy, and government under conditions of contemporary global uncertainty. The accelerating pace of technological innovation, intensifying geopolitical rivalry, post-pandemic fiscal and industrial restructuring, and mounting pressure to address the climate crisis have collectively destabilised the institutional arrangements through which scientific knowledge is produced, funded, applied, and governed. Drawing upon science and technology studies, political economy, and comparative public policy, the paper maps the principal axes of tension in this tripartite relationship: the contested boundary between scientific autonomy and political authority; the competing imperatives of open knowledge sharing and strategic technology protection; the distributional consequences of knowledge-intensive growth; and the governance deficit exposed by rapid advances in dual-use and general-purpose technologies. At the same time, the paper identifies and evaluates emerging frameworks for productive coordination among these domains, including science diplomacy, mission-oriented innovation policy, and multilateral regulatory cooperation. The analysis maintains strict analytical neutrality, privileging neither any particular model of political organisation nor any national or regional perspective. The central argument is that durable progress — scientific, economic, and social — requires the deliberate cultivation of trust, transparency, and mutual accountability among scientific communities, market actors, and governmental institutions.*

**Keywords:** science-government relations; political economy of knowledge; research and innovation policy; geopolitics of technology; dual-use research governance; science diplomacy; mission-oriented research; institutional trust

## АННОТАЦИЯ

*В данной статье исследуются структурные взаимосвязи между наукой, экономикой и государственным управлением в условиях современной глобальной неопределённости. Ускоряющийся темп технологических инноваций, усиление геополитического соперничества, постпандемическая бюджетная и промышленная реструктуризация, а также возрастающее давление в связи с необходимостью решения климатического кризиса дестабилизовали институциональные механизмы, посредством которых научные знания производятся, финансируются, применяются и регулируются. Опираясь на исследования в области науки и технологий, политической экономики и сравнительной государственной политики, статья выявляет основные оси напряжённости в этих трёхсторонних отношениях: оспариваемая граница между научной автономией и*



*политической властью; конкурирующие императивы открытого обмена знаниями и стратегической защиты технологий; распределительные последствия наукоёмкого роста; и дефицит управления, обнажённый стремительным развитием технологий двойного и общего назначения. Вместе с тем в статье определяются и оцениваются складывающиеся механизмы продуктивного взаимодействия — научная дипломатия, инновационная политика миссионального типа и многостороннее регуляторное сотрудничество. Центральный аргумент состоит в том, что устойчивый прогресс — научный, экономический и социальный — требует целенаправленного формирования доверия, прозрачности и взаимной подотчётности.*

**Ключевые слова:** отношения науки и государства; политическая экономия знания; политика в области исследований и инноваций; геополитика технологий; управление исследованиями двойного назначения; научная дипломатия; исследования миссионального типа; институциональное доверие

## АНДАТПА

Бұл мақалада қазіргі жаһандық белгісіздік жағдайында ғылым, экономика және мемлекеттік басқару арасындағы құрылымдық өзара байланыстар зерттеледі. Технологиялық инновациялардың жеделдеуі, геосаяси бәсекенің күшеюі, пандемиядан кейінгі қаржылық және өнеркәсіптік қайта құрылымдау, сондай-ақ климаттық дағдарысты шешуге деген өсіп келе жатқан қысым ғылыми білімнің өндірілетін, қаржыландырылатын, қолданылатын және реттелетін институционалдық тетіктерін тұрақсыздандырды. Мақала ғылым мен технология зерттеулерін, саяси экономияны және салыстырмалы мемлекеттік саясатты негізге ала отырып, осы үштаған қатынастардағы негізгі шиеленіс осьтерін анықтайды: ғылыми автономия мен саяси билік арасындағы дауланатын шекара; білімді ашық бөлісу мен технологияларды стратегиялық қорғаудың бәсекелес императивтері; білімді қажетсінетін өсудің бөлуге байланысты салдары; және қос мақсатты технологиялардың жедел дамуынан туындаған басқару тапшылығы. Басты дәлел: тұрақты прогресс — ғылыми, экономикалық және әлеуметтік — ғылыми қауымдастықтар, нарықтық субъектілер мен мемлекеттік институттар арасындағы сенімді, ашықтықты және өзара есептілікті мақсатты қалыптастыруды талап етеді.

**Кілт сөздер:** ғылым мен мемлекет қатынастары; білімнің саяси экономиясы; зерттеу және инновация саясаты; технологиялардың геосаясаты; қос мақсатты зерттеулерді басқару; ғылыми дипломатия; нақты мақсаттарға бағытталған зерттеулер; институционалдық сенім

## 1. Introduction

Few questions are more consequential for the trajectory of human civilisation than how science, economic activity, and governmental authority relate to one another. These three domains — each governed by its own distinctive logic, inhabited by its own communities, and animated by its own values — are not merely adjacent: they are constitutively interdependent. The knowledge that science produces shapes the possibilities of economic life; the resources that markets and governments provide determine the conditions under which science is conducted; and the capacities that scientific and economic actors develop constrain and enable what governments can achieve.

The world in 2026 is marked by a concatenation of crises and transitions that place this tripartite nexus under exceptional strain. Geopolitical competition between major powers has intensified, and the instruments of that competition increasingly include science and technology — the control of advanced semiconductor supply chains, leadership in artificial intelligence

research, dominance of biotechnology, and ownership of critical data infrastructure have become as strategically significant as conventional military capability. Post-pandemic economic reconstruction has exposed deep fault lines in global supply chains and renewed debates about the appropriate roles of public and private actors in strategic industrial sectors. The imperative of decarbonisation demands a transformation of energy, transport, and agricultural systems of historic scope. And the uneven distribution of the benefits of technology-driven growth has generated political pressures that affect the legitimacy and effectiveness of scientific and economic institutions alike.

This paper provides a rigorous and politically neutral analysis of these dynamics. It draws upon scholarship in science and technology studies, political economy, institutional economics, and comparative public policy. It does not adjudicate among competing ideological visions. Rather, it maps the key dimensions of the contemporary challenge, identifies the principal sources of tension, and surveys the range of institutional responses being developed. The aim is to contribute to a well-informed, cross-cultural conversation at the international level.

## **2. Conceptual Framework**

### ***2.1 Modes of Interaction***

The relationships among science, economy, and government can be characterised along three analytically distinct dimensions. First, resource flows: governments allocate public funds to scientific research; markets invest in R&D in anticipation of commercial returns; and the products of research feed back into productive activity. Second, authority and legitimacy: scientific findings provide governments with the epistemic basis for evidence-informed policy; governments in turn constitute and regulate the institutions within which science is conducted. Third, values and norms: each domain operates according to a distinctive normative order — the scientific community's commitment to truth and communalism; the market's orientation toward efficiency and competition; and government's concern with authority, legitimacy, and the public interest. These normative orders are frequently in tension.

### ***2.2 The Public Good Dilemma***

A foundational analytical tension in the political economy of science concerns the dual character of scientific knowledge as simultaneously a global public good and a national or corporate strategic asset. As a public good, scientific knowledge is non-rivalrous and, in its basic form, non-excludable — properties that provide the classic justification for public investment in research. At the same time, the strategic importance of scientific and technological leadership creates powerful incentives for actors to treat knowledge as an excludable asset, through patents, trade secrets, classification regimes, and restrictions on foreign collaboration. This tension has sharpened considerably in the current geopolitical environment.

### ***2.3 Trust as Institutional Infrastructure***

The effective functioning of the science-economy-government nexus depends upon robust trust relationships: between scientists and the publics whose support legitimises their work; between researchers and the governments and corporations that fund them; between national scientific communities collaborating across borders; and between citizens and the governmental institutions that translate scientific findings into policy. The erosion of any of these trust relationships generates cascading dysfunction. The crisis of trust in scientific institutions — manifest in vaccine hesitancy, climate denial, and the proliferation of scientific misinformation — reflects deeper disruptions in the social contract between science, government, and the public.

## **3. Science and the Economy**

### ***3.1 The Knowledge Economy: Achievements and Limits***

The knowledge economy thesis — that scientific and technological innovation is the principal source of sustained long-run economic growth — has profoundly shaped economic policy worldwide. The empirical record is broadly supportive but also reveals significant paradoxes.

Nations that have invested consistently in education, research, and innovation have generally achieved higher productivity and living standards. Yet the distribution of these benefits has been deeply unequal: within countries, returns have concentrated among highly educated workers and capital owners; between countries, the capacity to generate and commercialise scientific knowledge remains concentrated in a small number of advanced economies.

### ***3.2 Commercialisation and Research Integrity***

The progressive commercialisation of research — increasing orientation toward marketable outputs and measurable economic returns — has generated substantial debate. Proponents argue it accelerates translation of discoveries into socially beneficial products and aligns research priorities with genuine social needs. Critics respond that it distorts research priorities, creates conflicts of interest that compromise objectivity and reproducibility, and undermines the norms of openness on which cumulative scientific progress depends. Neither side can claim the full weight of evidence, and the tension reflects genuine value disagreements that resist simple resolution.

### ***3.3 Technology Decoupling and Innovation System Reconfiguration***

Among the most consequential economic trends of the mid-2020s is the deliberate reconfiguration of global technology supply chains and innovation networks along geopolitical lines — variously described as decoupling, de-risking, or friend-shoring. Driven by strategic competition between major powers, this process involves export controls on advanced technologies, restrictions on foreign direct investment in sensitive sectors, screening of research collaboration involving foreign nationals, and large-scale subsidisation of domestically critical industries. Research networks that previously spanned national boundaries are being redrawn along geopolitical lines, challenging the open, international character of science.

## **4. Science and Government**

### ***4.1 Expertise, Authority, and Democratic Legitimacy***

The relationship between scientific expertise and political authority has always been characterised by a productive but potentially destabilising asymmetry. Democratic governments derive their authority from popular mandate, not epistemic competence; yet effective governance in complex modern societies requires access to specialised knowledge that citizens and elected officials typically cannot possess. The COVID-19 pandemic brought this tension into unusually sharp public focus, revealing the difficulty of communicating genuine scientific uncertainty without undermining public trust, the vulnerability of advisory processes to political interference, and the risk that appeals to 'the science' can pre-empt legitimate democratic deliberation.

### ***4.2 National Research and Innovation Strategies: A Global Landscape***

Despite divergence in their political systems and economic circumstances, governments across the world have converged on the view that scientific and technological capability is a strategic priority of the first order. The United States has enacted landmark legislation — including the CHIPS and Science Act and the Inflation Reduction Act — representing the largest public investment in industrial and research policy in several generations. The European Union emphasises regulatory leadership as a source of strategic influence. China's strategy prioritises technological self-reliance. In Central Asian, South Asian, and Sub-Saharan African nations, the foundational challenge is rather to build research capacity and ensure equitable access to global technological progress.

### ***4.3 Governing Dual-Use and General-Purpose Technologies***

The governance of technologies with dual civilian-military potential is among the most demanding challenges in contemporary science policy. Artificial intelligence exemplifies this challenge: the same systems that enable advances in medical diagnosis, climate modelling, and language understanding can also be deployed for autonomous lethal weapons, mass surveillance, and targeted disinformation. Synthetic biology presents analogous governance dilemmas,

progressively lowering barriers to agents with catastrophic harm potential. Effective governance requires reconciling imperatives that are in genuine tension: scientific openness; biosecurity and national security; and equitable access to the benefits of innovation.

## **5. Emerging Frameworks for Coordination**

### **5.1 Science Diplomacy**

Science diplomacy — the use of scientific cooperation as an instrument of foreign policy and as a channel for communication across political divides — has attracted growing interest as states seek alternatives to conventional diplomatic channels that have narrowed under geopolitical pressure. Historical examples, including scientific cooperation between ideologically opposed states during the Cold War, lend credibility to the proposition that shared intellectual goals can sustain collaboration across deep political divides. Large-scale international collaborations in particle physics, fusion energy, and space exploration demonstrate the institutional feasibility of this approach. Its limits, however, should not be underestimated: science cannot substitute for political will.

### **5.2 Mission-Oriented Innovation Policy**

A prominent trend in contemporary innovation policy is the revival of mission-oriented approaches — articulating ambitious societal objectives (net-zero emissions, eliminating specified diseases, universal connectivity) and organising research funding, regulatory frameworks, and public procurement around their systematic pursuit. This represents a significant departure from the passive market-failure rationale dominant since the 1980s. Supporters argue that mission orientation can mobilise dispersed scientific and economic resources around urgent societal priorities. Critics raise concerns about governmental capacity to select productive directions, political capture of research agendas, and the crowding out of basic research.

### **5.3 Open Science and the Politics of Knowledge Sharing**

The open science movement — encompassing open access publishing, open research data, open source software, and transparent sharing of methods and protocols — argues that artificial barriers to knowledge sharing impose significant costs on scientific progress, reproducibility, and equitable global access. The movement has made significant institutional progress, with major research funders and governments adopting open access mandates. It encounters resistance from publishers with established revenue models, researchers with legitimate intellectual property concerns, security agencies concerned about dual-use disclosure, and institutions in high-income countries that benefit from existing asymmetries in access.

## **6. Discussion**

The analysis presented in the preceding sections supports four overarching observations. First, the tensions among science, economy, and government are structural, not incidental. They reflect genuine conflicts of interest and value that cannot be dissolved by better coordination or communication alone. The tension between the openness scientific progress requires and the exclusivity that competitive advantage demands; between the long time horizons of basic research and the short horizons of political cycles; between the universalist norms of science and the particularist imperatives of national governance — these are permanent features of the landscape to be navigated, not misunderstandings to be dispelled.

Second, the current historical moment is characterised by an unusual accumulation of stresses on this already complex system. The convergence of geopolitical polarisation, technological disruption, post-pandemic economic restructuring, and environmental emergency creates a situation in which demands on the science-economy-government nexus are exceptionally intense, while institutional capacities to respond are simultaneously strained.

Third, productive responses are possible. Science diplomacy, mission-oriented innovation policy, and open science represent genuine advances in governance, and each has demonstrated — in at least some contexts — the capacity to generate meaningful coordination around shared

objectives. None is a panacea, and each involves significant trade-offs. But their existence and partial success suggest that the challenges described, while formidable, are not insuperable.

Fourth, no single model is universally applicable. The diversity of approaches currently visible globally — statist and market-led, centrally coordinated and decentralised — should be understood not as a problem to resolve through convergence, but as a source of variation enabling learning. Dogmatic confidence in any single model is likely to prove ill-founded.

## 7. Conclusion

Science, economy, and government are not three separate domains that occasionally interact; they are constitutively intertwined systems whose mutual relationship shapes, in fundamental ways, the possibilities of human progress. The governance of this relationship — determining how scientific knowledge is produced, funded, shared, applied, and regulated; how the benefits and risks of technological change are distributed; and how the authority of expertise is reconciled with democratic legitimacy — is among the most consequential areas of contemporary public life.

This paper has argued that the current conjuncture presents this governance challenge in an unusually demanding form, while simultaneously identifying grounds for cautious optimism. The central conclusion is that durable progress across all three domains requires the deliberate cultivation of trust, transparency, and mutual accountability among scientific communities, economic actors, and governmental institutions. These are not merely normative aspirations but functional prerequisites for the effective operation of the complex system on which so much depends. At no previous moment in the modern era has this cultivation been more necessary — or more difficult.

The authors hope that this contribution, presented to the international scientific community assembled for ISTOCP-2026 in Paris, may serve as a foundation for the cross-disciplinary and cross-cultural dialogue that the challenges of our moment demand.

## References

- Arrow, K. J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In R. R. Nelson (Ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity* (pp. 609–626). Princeton University Press.
- Bush, V. (1945). *Science — The Endless Frontier: A Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*. United States Office of Scientific Research and Development.
- Collingridge, D. (1980). *The Social Control of Technology*. Frances Pinter.
- Dosi, G., & Stiglitz, J. E. (2014). The Role of Intellectual Property Rights in the Development Process. In M. Cimoli et al. (Eds.), *Intellectual Property Rights: Legal and Economic Challenges for Development* (pp. 13–56). Oxford University Press.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1995). The Triple Helix — University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development. *EASST Review*, 14(1), 14–19.
- European Commission. (2020). *A New ERA for Research and Innovation*. COM(2020) 628 final.
- Fagerberg, J., Mowery, D. C., & Nelson, R. R. (Eds.). (2005). *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The New Production of Knowledge*. Sage Publications.
- Jasanoff, S. (2005). *Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States*. Princeton University Press.
- Mazzucato, M. (2021). *Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism*. Allen Lane.
- Merton, R. K. (1973). The Normative Structure of Science. In N. W. Storer (Ed.), *The Sociology of Science* (pp. 267–278). University of Chicago Press.

- OECD. (2023). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption. OECD Publishing.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102.
- Royal Society. (2010). *New Frontiers in Science Diplomacy: Navigating the Changing Balance of Power*. The Royal Society.
- UNESCO. (2023). *UNESCO Science Report: The Race Against Time for Smarter Development*. UNESCO Publishing.
- Wilsdon, J., et al. (2015). *The Metric Tide: Report of the Independent Review of the Role of Metrics in Research Assessment and Management*. HEFCE.
- World Bank Group. (2025). *World Development Report 2025: Securing the Future of Science-Intensive Economies*. World Bank Publications.



## Psychological Sciences

# The role of AI (artificial intelligence) in modern education system

**Nargiz Firdovsi Sultan**

PhD in Psychology; Baku State University, Department of Gender and Applied Psychology, Lecturer and faculty member

**Keywords:** artificial intelligence, education, learning, impact of AI, modern educational system

Since the beginning of the twenty-first century, artificial intelligence systems, which have become integrated into the daily lives of people from all segments of society, have become an indispensable part of life. From computer-based systems used in the workplace to vacuum cleaners used for home cleaning, from vehicle navigation systems that determine routes to bank accounts that manage investment transactions, from shopping sites where orders are placed to telephones used for calls, artificial intelligence systems are used in many applications used in daily life (Özgeldi, 2019). Artificial intelligence systems, which are becoming increasingly important in today's world, are also having significant effects on people's perspectives on events, their understanding of entertainment, and their lifestyles, in addition to their daily activities and work roles (Altun, 2019). Social media platforms such as Facebook, Twitter, and Netflix, which constitute some of the largest companies of today and have transferred the social structure and life of the modern world to virtual environments, have based their work plans on artificial intelligence (Özgeldi, 2019). Today, small businesses, large companies, organizations, and governments that want to survive for many years and aim for lasting success are obliged to develop and use artificial intelligence systems. Artificial intelligence systems, in general, are cognitive regulators that can help institutions and organizations make more accurate and effective decisions by processing big data. These systems can be used in every field, from human resource planning to the development steps that states will take. The use of artificial intelligence systems is essential for processing, classifying, monitoring, scaling, organizing, and making correct decisions on information that is important for states (Aydın, 2019). Therefore, states that want to dominate the future must use these systems. Developed countries, aware of this situation, are restructuring their education systems to develop and disseminate artificial intelligence systems. Countries that have achieved significant success in the field of artificial intelligence, such as China and America, have transformed their education systems towards the use and development of artificial intelligence systems (Knox, 2020). This study examines the concrete development of increasingly widespread artificial intelligence systems, their relationship with human intelligence, and their impact on the education system.

According to Hubert L. Dreyfus (1929-2017), who philosophically questions artificial intelligence studies, programmers must define everything in the universe as an object in order to give machines the ability to learn. However, not all human characteristics can be concretely stated and defined. Some characteristics can only be known through the metaphysical realm. Furthermore, for systems created with artificial intelligence to be considered intelligent, they must have a body, emotions, abilities, senses, memories, cultural interaction, and imagination like humans (Dreyfus, 1981). According to Kutlusoy (2019), artificial intelligence studies should be defined as systems that aim for "higher-level cognitive skills" rather than being expressed as systems that are like humans. According to Stephanie A. Dick, a mathematician and computer science historian from



the University of Pennsylvania, current artificial intelligence studies have diverged from their initial aims and applications, and the concept of artificial intelligence has become merely a symbolic use. In the 20th century, researchers working in the field of artificial intelligence abandoned the goal of creating human-like systems, as adopted in the classical tradition, and turned towards creating solution-oriented systems. Artificial intelligence studies reduced human intelligence to a cognitive formalism such as logic and reasoning (Dick, 2019). Artificial intelligence studies are a product of humankind's effort to create systems like itself or more intelligent than itself. However, today's artificial intelligence studies have transformed in line with this initial goal and have branched out into different fields of study under the field of artificial intelligence. The sub-branches of artificial intelligence include machine learning, artificial neural networks, natural language processing, speech synthesis, speech understanding, expert systems, knowledge base, and fuzzy logic (Kırpınar, 2019). In today's artificial intelligence studies, the principle of imitating human intelligence has expanded and evolved towards imitating other living beings as well. In recent studies, artificial intelligence systems have been developed that imitate the behavior of creatures that live in colonies, such as ants, birds, bees, and fish (Esin, 2019).

According to Edward Fredkin, director of the Artificial Intelligence Laboratory at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) and a faculty member at Carnegie Mellon University, there are three significant events that have occurred throughout history. The first is the formation of the universe, and the second is the beginning of life. The third event, which he considers equally important as the beginning of life, is the emergence of artificial intelligence (Copeland, 1998). With the development of artificial intelligence, changes have occurred in the areas and roles where humans are needed. While humans needed hunting and gathering to survive at the beginning of life, today, to survive, they are expected to be able to work in harmony with machines equipped with artificial intelligence, and to have the ability to use and develop artificial intelligence systems (Tuğluk and Gök-Çolak, 2019). With the inclusion of machines with artificial intelligence in various sectors, the need for physical strength and basic cognitive skills expected from humans has decreased (Günay and Şişman, 2019). The proliferation of AI-based systems has brought with it fears that they will replace humans and lead to job losses.

Artificial intelligence systems used in education can generally be classified under expert systems, intelligent tutoring systems, and dialogue-based systems. Expert systems, in their simplest form, can be defined as systems that possess only the knowledge of a specific field, like a person who has specialized in that field. These systems are mostly used in distance education. Intelligent tutoring systems can be defined as an improved model of expert systems and computer-assisted instruction systems. Intelligent tutoring systems offer students personalized learning environments. Dialogue-based systems, in addition to offering individuals personalized training programs, continue to correct learning deficiencies through dialogues and tailor the training program to the learner (Arslan, 2020). Although attempts have been made to classify artificial intelligence systems used in education under as many subheadings as possible, the development of artificial intelligence is happening very rapidly, and many new sub-fields are being added day by day. The most commonly known of these can be listed as artificial neural networks, computer vision, robotics, genetic algorithms, chaotic modeling, and simulated annealing (İşler and Kılıç, 2021).

## References:

1. Altun, D. (2019). Sanal gerçeklik ve yapay zeka. G. Telli (Ed.), Yapay zeka ve gelecek içinde (ss. 139-157). İstanbul: Doğu Kitapevi.
2. Arslan, K. (2020). Eğitimde yapay zeka ve uygulamaları. Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 11(1), 71-88.
3. Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A., and Bilyatdinova, A. (2018). Artificial intelligence trends in education: A narrative overview. Procedia Computer Science, 136, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.233>
4. Clark, A. (2003). Artificial intelligence and the many faces of reason. S. P. Stich (Ed.) Philosophy in mind içinde (ss. 309-321). Malden: Blackwell Publishing
5. Dick, S. (2019). Artificial intelligence. Harvard Data Science Review, 1(1), 1-8. [doi: 10.1162/99608f92.92fe150c](https://doi.org/10.1162/99608f92.92fe150c)
6. Popenici, S. A., ve Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 12(1), 1-13. [doi: 10.1186/s41039-017-0062-8](https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8)
7. Raza, K. (2020). Artificial intelligence against COVID-19: A meta-analysis of current research. Big Data Analytics and Artificial Intelligence Against COVID-19: Innovation Vision and Approach, 78, 165-176. [doi: 10.1007/978-3-030-55258-9\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55258-9_10)
8. Sariel, S. (2017). Günümüzde yapay zeka. M. Karaca (Ed.) İnsanlaşan makineler ve yapay zekâ içinde (ss. 21-25). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Dergisi.

## Medical Sciences

# Трудности диагностики: клинический случай метастатического поражения головного мозга под маской ТИА

Гиорги Дадиани

младший врач – резидент, реаниматолог-анестезиолог

### Аннотация

В статье на примере одного клинического случая описана картина заболевания, которая на начальном этапе маскировалась под транзиторную ишемическую атаку (ТИА), но в итоге оказалась вторичной злокачественной опухолью головного мозга и его оболочек. Представлены рекомендации по лечению отека головного мозга и диагностике сопутствующих патологий.

В работе приведены показатели анализов крови, а также данные по медикаментозной терапии: наименования, сроки и дозировки препаратов, назначенных в двух различных клиниках города Тбилиси (Грузия). Описанный клинический опыт может представлять практический интерес для студентов медицинских вузов и врачей соответствующего профиля.

### КЛИНИКА 1

**Пациент:** Н.Д., пол мужской, 77 лет, пенсионер. Госпитализация: 22.03.2026 г. Выписан: 25.03.2026 г.

**Заключение о состоянии здоровья (основное заболевание, сопутствующие заболевания, осложнения) ICD-10**

**Основное заболевание:** G93.6 - Отек головного мозга. C79.3 - Вторичная злокачественная опухоль головного мозга и его оболочек.

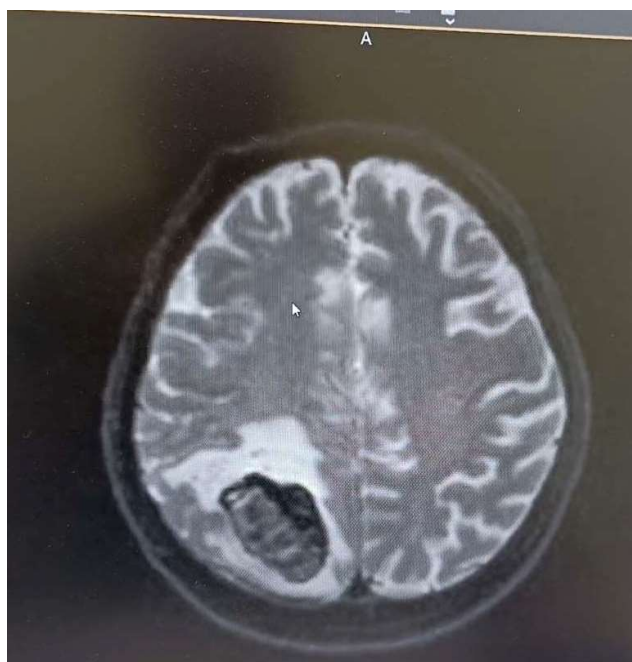
**Сопутствующие заболевания:** C85 – Неходжжикская лимфома I10 - Эссенциальная (первичная) гипертензия I47.0 - Желудочковая экстрасистолия с регургитацией

**Краткий анамнез:** Пациент был доставлен в клинику с помощью родственников. Он жалуется на общую слабость, нарушение координации, слабость в левой руке и ноге. Утром в 06:00 при пробуждении были отмечены нарушение координации и общая слабость, поэтому он был доставлен в клинику для дальнейшей диагностики и лечения. **В анамнезе:** 15-18 лет назад у Пациента была диагностирована неходжжикская лимфома, по поводу которой он прошел курс химиотерапии.

**Артериальная гипертензия;** принимает Адипин 10 мг, Физиотенс 0,4 мг симптоматически, Беталок-Зок 25 мг 2 раза в день, Аторис 40мг. Несколько лет назад ему была проведена поясничная микродискэктомия.

**Неврология:** Сознание ясное, контактное, адекватное, зрачки круглые, среднего размера, фотореакции вызванные, центральный парез 7-го черепного нерва слева, левосторонний гемипарез. Общий фон сухожильных рефлексов: оживленные на верхних конечностях, вызванные с избытком слева, слабые на нижних конечностях, патологический рефлекс Бабинского слева, менингеальный синдром не проявляется. NIHSS - 5 баллов.

Поскольку у Пациента после пробуждения появились симптомы, было сочтено необходимым провести **четырёхрежимную МРТ** головного мозга по протоколу пробуждения при инсульте. Однако во время сканирования было выявлено **злокачественное метастазирование в правой теменной доле**, в связи с чем была выполнена полная МРТ головного мозга с внутривенным контрастированием: в правой лобной доле базально, в левой лобной доле на уровне прецентральной извилины на выпуклой стороне, билатерально в теменной доле, на уровне полушарий. Внутрисосудистые объемные образования различного размера, неправильной формы, контрастирующиеся по периферии при внутривенном контрастировании, с острым кровоизлиянием в центре правой теменной доли, с выраженным перифокальным отеком и масс-эффектом, максимальный размер — в правой теменной доле — 2,6 x 3,6 x 3,7 см. Область микрокровоизлияния также видна в левой лобной доле на уровне прецентральной извилины. В двусторонней лобно-теменной доле видны перивентрикулярные и субкортикальные очаги лакунарного глиоза (хронического).



#### Проведенные диагностические обследования и консультации:

**Диагноз:** отек головного мозга G93.6; вторичное злокачественное новообразование головного мозга и его оболочек C79.3; артериальная гипертензия I10.

Необходима консультация нейрохирурга.

Существующая МРТ показывает: Внутримозговые объемные образования различного размера в базальной части правой лобной доли, в левой лобной доле на уровне прецентральной правой теменной доле и в левой лобной доле с кровоизлияниями в очагах — наиболее соответствующие поражениям МТС, лакунарные очаги глиоза (хронические) в билатеральной лобно-теменной доле перивентрикулярно и субкортикально, перивентрикулярная лейкоэнцефалопатия. Рекомендуется обследование пациента в онкосоматическом отделении и консультация онколога.

#### Клиническая консультация нейрохирурга

Гемодинамические показатели стабильны: 160/75 мм рт. ст., пульс - 77° ритмичный, кортикальные тоны приглушенные, ритмичные, частота дыхания - 19°, сатурация кислорода -96% на атмосферном воздухе, температура - 36,8°С, легочное дыхание - двустороннее

везикулярное, живот мягкий при пальпации, безболезненный, область проекции мочевого пузыря мягкая, мочеиспускание произвольное.

МРТ головного мозга с внутривенным контрастированием выполнена - имеются Соответствующие данные. Исследование выявило внутримозговые объемные образования различного размера в базальной части правой лобной доли, в левой лобной доле на уровне прецентральной извилины на выпуклой стороне, билатерально в теменной доле на уровне полушарий, в правой теменной доле и в левой лобной доле с кровоизлияниями в очагах — наиболее соответствующие очагам поражения МТС.

**Диагноз:** Отек головного мозга. G93.6; Вторичная злокачественная опухоль головного мозга и его оболочек C79.3

Пациенту на данном этапе не требуется срочное хирургическое вмешательство.

**Ответ:** После стабилизации и улучшения состояния провести амбулаторные исследования в онкологическом отделении. Физиологически мочеиспускание произвольное, гемодинамические и дыхательные показатели в пределах нормы. Активизирован с помощью вспомогательных средств передвижения. Выписан из больницы с соответствующими назначениями и рекомендациями.

**Проведенное лечение:**

Раствор NaCl 0,9%, 500 мл 1 внутривенно; Раствор Рингери 500,0 внутривенно 1 раз; Раствор Пантопразола 40 мг внутривенно 1 раз; Раствор Дексаметазона 8 мг 2 внутривенно; Раствор Эноксапарина 0,4 мл подкожно 1 раз; Таблетки Аторизи 20 мг 1 раз; Таблетки Физиотензи 0,4 мг суточная доза; Таблетки Лориста Н 50/12,5 мг 1 раз; Таблетки Беталок-зоки 25 мг 2 раза.

Прием пищи осуществляется физиологическим образом, мочеиспускание произвольное, гемодинамические и дыхательные показатели в пределах нормы. Активен, передвигается с помощью вспомогательных средств. Выписан из больницы с соответствующими рецептами и рекомендациями.

**Состояние при выписке из клиники: Стабильное**

**Рекомендации по лечению**

Дексаметазон (4 мг/1 мл, 1 мл) внутримышечно, внутривенно и внутрисуставно, раствор для внутрисуставных инъекций, ампула N25 (5X5) - 4 мг, 2 ампулы, 2 раза в день внутримышечно, продолжительность по согласованию с онкологом - Rec.N F3E10015734763

Эноксапарин натрия (40 мг/0,4 мл (4000 анти-Ха МЕ/0,4 мл), 0,4 мл раствора для внутривенных и подкожных инъекций, предварительно заполненный шприц N2) - 0,4 мг 1 раз в день подкожно 7-10 дней - Rec.N F3E10015734755.

Эсциталопрам оксалат (10 мг, таблетка, покрытая пленочной оболочкой, N28) - 10 мг, 1/2 таблетки 12:00 AM в течение 5 дней, затем 1 таблетка в 12:00 AM - Rec.N F3E10015734746.

Таблетки Оланзапина, USP (таблетка 5 мг N30) - 5 мг 1 таблетка перед сном в течение 3 месяцев, затем 1/2 таблетки перед сном в течение 1 месяца. -Рек. № F3E10015734734.

Эзомепразол магния тригидрат - Нексиум (40 мг таблетки, покрытые кишечнорастворимой оболочкой, № 14) - 40 мг 1 таблетка 1 раз в день натощак за 30 минут до еды (инъекция дексаметазона).

- Пациенту требуется амбулаторное наблюдение у семейного врача, кардиолога и нейрохирурга;

- Амбулаторная консультация онколога;

- Планируется компьютерная томография грудной клетки с внутривенным контрастированием;

- Планируется компьютерная томография верхней и нижней частей брюшной полости с внутривенным контрастированием;

- Необходимо быть максимально активным, находиться в вертикальном положении в течение дня;
- Потребление жидкости 2 литра в день;
- Контроль артериального давления и уровня сахара;

#### **Продолжить текущее лечение**

- Дексаметазон 4 мг 2 ампулы 2 раза в день внутримышечно, продолжительность по согласованию с онкологом;
- Паринокс 0,4 мг 1 раз в день подкожно в течение 7-10 дней;
- Цитолес 10 мг, 1/2 таблетки в 12:00 утра в течение 5 дней, затем 1 таблетка в 12:00 утра в течение 6 месяцев (не прекращать прием без консультации с врачом);
- Оланзапел 5 мг, 1 таблетка перед сном в течение 3 месяцев, затем 1/2 таблетки перед сном в течение 1 месяца.

Основные показатели анализа крови приведены в прилагаемых Таблицах 1...6.

#### **25-03-2026 Компьютерная томография органов грудной клетки, брюшной полости и малого таза с внутривенным контрастированием**

На полученных томограммах грудная клетка без деформаций. Структуры средостения без отклонений. Контрастное вещество полностью заполняет просветы магистральных сосудов. На стенках дуги аорты и нисходящей аорты определяются кальцинаты.

В средостении определяются увеличенные лимфатические узлы изменённой структуры с максимальными размерами:

- Паратрахеально — 1,9 см; 1,6 см; 2,6 см
- На уровне аортопюльмонального окна — 1,9 см
- Субкаринально — 1,9 см
- Двусторонне, в воротах лёгких — также определяются лимфатические узлы изменённой структуры: справа — 1,8 см; 1,7 см; 1,1 см; слева — 1,9 см

Двусторонне в лёгких определяются множественные узелки различных размеров и интенсивности, максимальным размером: справа — 6 мм (в VI сегменте); слева — 1,3 см (в VIII сегменте). На уровне IV сегмента правого лёгкого определяется частично кальцинированный узелок размером 14 мм.

В правой доле печени определяется гиповаскулярный очаг (метастатическое поражение) — 13 мм (сегмент VIII).

В области ворот селезёнки определяется добавочная селезёнка размером 1,4 см.

Поджелудочная железа визуализируется на всём протяжении, размеры не увеличены, структура однородная, Вирсунгов проток не расширен.

**Левая почка:** определяется объёмное образование с максимальными размерами **10,1 × 6,7 × 9,3 см**, структура преимущественно тканевая, с наличием гиподенсивных участков.

Образование распространяется в паранефральную жировую клетчатку, прилежит к стенке тонкой кишки, инвазирует чашечно-лоханочную систему и почечную вену — с наличием метастатического тромба.

**Правая почка:** без патологических изменений.

Двусторонне чашечно-лоханочные системы и мочеточники не расширены. Экскреция контрастного вещества двусторонне своевременная. Мочевой пузырь умеренного наполнения, без патологических изменений в полости. Предстательная железа с чёткими контурами.

Свободной жидкости в брюшной полости не определяется. Видимые костные структуры без признаков деструктивных изменений.

В ретроперитонеальном пространстве — лимфаденопатия.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

По данным КТ выявлены:

- Увеличенные лимфатические узлы изменённой структуры в средостении и двусторонне в воротах лёгких
- Множественные узелки в обоих лёгких — **вторичное (метастатическое) поражение**
- Гиповаскулярный очаг в правой доле печени — **вторичное (метастатическое) поражение**
- **Опухоль левой почки**
- Лимфаденопатия в ретроперитонеальном пространстве



•

| Показатель       | Ед. изм. | 22.03.2026 |
|------------------|----------|------------|
| pH               | —        | 7,38       |
| Na <sup>+</sup>  | ммоль/л  | 135        |
| K <sup>+</sup>   | ммоль/л  | 4,0        |
| Cl <sup>-</sup>  | ммоль/л  | 102        |
| Ca <sup>2+</sup> | ммоль/л  | 1,23       |
| Hct              | %        | 36         |
| Глюкоза (Glu)    | мг/дл    | 120        |
| Лактат (Lac)     | ммоль/л  | 2,0        |
| tHb              | г/дл     | 11,3       |



| Показатель                         | Ед. изм.           | 22.03.2026 |
|------------------------------------|--------------------|------------|
| Эритроциты (RBC)                   | $10^6/\text{мкл}$  | 4,79       |
| Гемоглобин (HGB)                   | г/дл               | 11,6       |
| Гематокрит (HCT)                   | %                  | 37,50      |
| MCV                                | фл                 | 78,3       |
| MCH                                | пг                 | 24,2       |
| MCHC                               | г/дл               | 30,9       |
| RDW-CV                             | %                  | 14,6       |
| RDW-SD                             | фл                 | 41,4       |
| Ядросодержащие эритроциты (NRBC)   | %                  | 0,00       |
| Ядросодержащие эритроциты (NRBC) # | $10^{12}/\text{л}$ | 0,0        |
| Микроциты (Micror)                 | %                  | 9,2        |
| Макроциты (Macror)                 | %                  | 4,0        |
| Тромбоциты (PLT)                   | $10^3/\text{мкл}$  | 348        |
| P-LCR                              | %                  | 23,6       |
| Тромбокрит (PCT)                   | %                  | 0,34       |
| MPV                                | фл                 | 9,8        |
| PDW                                | фл                 | 11,2       |
| Лейкоциты (WBC)                    | $10^3/\text{мкл}$  | 9,70       |
| Нейтрофилы                         | %                  | 60,7       |
| Нейтрофилы #                       | $10^3/\text{мкл}$  | 5,89       |
| Несозревшие гранулоциты (IG)       | %                  | —          |
| Несозревшие гранулоциты (IG) #     | $10^3/\text{мкл}$  | —          |
| Лимфоциты (Lymph)                  | %                  | 29,7       |
| Лимфоциты (Lymph) #                | $10^3/\text{мкл}$  | 2,88       |
| Моноциты (Mono)                    | %                  | 9,3        |
| Моноциты (Mono) #                  | $10^3/\text{мкл}$  | 0,90       |
| Эозинофилы (Eo)                    | %                  | 0,10       |
| Эозинофилы (Eo) #                  | $10^3/\text{мкл}$  | 0,01       |
| Базофилы (Baso)                    | %                  | 0,2        |
| Базофилы (Baso) #                  | $10^3/\text{мкл}$  | 0,02       |

| Показатель                         | Ед. изм. | 22.03.2026 |
|------------------------------------|----------|------------|
| Протромбиновое время по Квику (РТ) | сек      | 12,60      |
| Протромбиновый индекс (PI)         | %        | 78,00      |
| INR                                | —        | 1,16       |
| АЧТВ (АРТТ)                        | сек      | 35,70      |
| Фибриноген (FIB)                   | г/л      | 6,06 ↑     |

| Показатель            | Ед. изм.                  | 22.03.2026 | 25.03.2026 |
|-----------------------|---------------------------|------------|------------|
| Креатинин (сыворотка) | мкмоль/л                  | 118 ↑      | 130 ↑      |
| СКФ (GFR)             | мл/мин/1,73м <sup>2</sup> | 50,97 ↓    | 45,34 ↓    |

| Показатель | Ед. изм. | 25.03.2026 |
|------------|----------|------------|
| АЛТ (ALAT) | Ед/л     | 10,40      |
| АСТ (ASAT) | Ед/л     | 15,80      |
| ГГТ (GGT)  | Ед/л     | 34,00      |

## КЛИНИКА 2

### G93.6 – Церебральный отек

#### Сопутствующие заболевания:

I10 – Эссенциальная (первичная) гипотензия

C85 – Неходжкисккая лимфома

#### Краткий Анамнез:

Частичная потеря мобильности и чувствительности двух левых конечностей. В клинике снята кардиограмма, явных нарушений не выявлено. Речевая функция и когнитивные способности также не нарушены. По информации Пациента, накануне имевшего давление 165/70, принял таблетку каптоприла 50 мг и через час в гостях - алкоголь в виде сухого вина, около 1000 мл. По возвращении домой пациент примерно в 5 часов утра почувствовал нарушение координации, с некоторым синдромом «чужих» конечностей.

Предписана ежедневная лучевая терапия в количестве 8 сеансов. Продолжительность одного сеанса примерно 10 мин. Фактическое начало сеансов – спустя 4 дня после диагноза.

Через несколько дней появились признаки крови в испражнениях. Диагноз проктолога: геморроидальное заболевание I стадии. Назначение: правильное питание 08:00, 13:00, 18:00 час, промывание Прокто-фоумом, крем Деклосид 2 раза в день - 2 недели, свечи Геморелакс - 2 недели перед сном.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Лабораторные исследования

#### Биохимия (14.04.2026)

| Показатель      | Результат | Норма   |
|-----------------|-----------|---------|
| Na+             | 136.5     | 130–152 |
| K+              | 4.75      | 3.6–5.2 |
| Креатинин       | 104 ↑     | 50–100  |
| Общий билирубин | 17.5      | 2–20.5  |
| AST             | 28.8      | 5–40    |

| Показатель | Результат | Норма  |
|------------|-----------|--------|
| ALT        | 54.5 ↑    | 5–40   |
| BUN        | 53.62 ↑   | 4.7–23 |
| Мочевина   | 19.5 ↑    | 2–8.3  |

| Показатель                          | Норма        | 14.04.2026   | 16.04.2026   | 18.04.2026   | 20.04.2026   | 27.04.2026   |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| RBC (эритроциты)                    | 4.4–5.7      | 5.13         | 4.73         | 5.04         | 5.14         | 4.66         |
| HGB (гемоглобин) g/dL               | 13.5–17.5    | 12.7 ↓       | 11.8 ↓       | 12.5 ↓       | 12.8 ↓       | 11.7 ↓       |
| HCT (%)                             | 40–50        | 39.6 ↓       | 36.1 ↓       | 37.8 ↓       | 38.9 ↓       | 35.9 ↓       |
| MCV (fL)                            | 80–97        | 77.2 ↓       | 76.3 ↓       | 75.0 ↓       | 75.7 ↓       | 77.0 ↓       |
| MCH (pg)                            | 26.5–33.5    | 24.8 ↓       | 24.9 ↓       | 24.8 ↓       | 24.9 ↓       | 25.1 ↓       |
| MCHC (g/dL)                         | 32–36        | 32.1         | 32.7         | 33.1         | 32.9         | 32.6         |
| RDW-SD (fL)                         | 37.1–49.2    | 17.7         | 48.7         | 47.2         | 48.1         | 50.3 ↑       |
| RDW-CV (%)                          | 11–16        | 17.7 ↑       | 17.5 ↑       | 18.3 ↑       | 17.7 ↑       | 18.0 ↑       |
| <b>Показатель</b>                   | <b>Норма</b> | <b>14.04</b> | <b>16.04</b> | <b>18.04</b> | <b>20.04</b> | <b>27.04</b> |
| PLT (тромбоциты) 10 <sup>9</sup> /L | 150–400      | 125 ↓        | 89 ↓         | 80 ↓         | 100 ↓        | 253 ✓        |
| PCT (%)                             | 0.12–0.35    | 0.12         | 0.08 ↓       | 0.09 ↓       | 0.09 ↓       | 0.23         |
| MPV (fL)                            | 6.5–12       | 9.8          | 9.4          | 9.4          | 9.5          | 9.3          |
| PDW (fL)                            | 9.9–16.1     | 10.8         | 10.4         | 10.8         | 10.8         | 9.8 ↓        |
| P-LCR (%)                           | 17.5–42.3    | 24.5         | 20.9         | 28.9         | 22.8         | 19.7         |
| <b>Показатель</b>                   | <b>Норма</b> | <b>14.04</b> | <b>16.04</b> | <b>18.04</b> | <b>20.04</b> | <b>27.04</b> |
| WBC (лейкоциты)                     | 4–10         | 22.03 ↑      | 15.20 ↑      | 12.73 ↑      | 13.01 ↑      | 15.60 ↑      |
| IG %                                | 0–0.6        | 1.0 ↑        | 0.8 ↑        | —            | 1.1 ↑        | 2.5 ↑↑       |
| IG #                                | 0–0.06       | 0.23 ↑       | 0.12 ↑       | —            | 0.14 ↑       | 0.39 ↑↑      |
| NEUT %                              | 50–70        | 91.4 ↑       | 84.5 ↑       | 84.2 ↑       | 84.5 ↑       | 84.6 ↑       |
| NEUT #                              | 2–7          | 20.12 ↑      | 12.83 ↑      | 10.72 ↑      | 11.00 ↑      | 13.21 ↑      |
| LYMPH %                             | 20–40        | 3.6 ↓        | 9.1 ↓        | 7.5 ↓        | 9.8 ↓        | 10.4 ↓       |
| LYMPH #                             | 0.8–4        | 0.79 ↓       | 1.39         | 0.96         | 1.27         | 1.62         |
| MONO %                              | 4–10         | 5.0          | 6.4          | 8.0          | 5.5          | 4.8          |
| MONO #                              | 0.2–1        | 1.11 ↑       | 0.98         | 1.02 ↑       | 0.72         | 0.75         |
| EO %                                | 1–4          | 0.0 ↓        | 0.0 ↓        | 0.1 ↓        | 0.1 ↓        | 0.1 ↓        |
| EO #                                | 0.04–0.4     | 0.00 ↓       | 0.00 ↓       | 0.01 ↓       | 0.01 ↓       | 0.01 ↓       |
| BASO %                              | 0–1          | 0.0          | 0.0          | 0.2          | 0.1          | 0.1          |
| BASO #                              | 0–0.1        | 0.01         | 0.00         | 0.02         | 0.01         | 0.01         |

**Коагулограмма (14.04.2026)**

| Показатель | Результат | Норма   |
|------------|-----------|---------|
| APTT       | 32.5 сек  | 23–37   |
| PT         | 13.3 сек  | 9–16    |
| INR        | 1.00      | 0.9–1.3 |
| Фибриноген | 3.83 г/л  | 2–4     |
| TT         | 16.7 сек  | 14–20   |
| SFMC       | 9.0 ↑     | 3–4     |
| D-dimer    | 0.61 ↑    | 0.1–0.5 |

**Контрольные анализы перед биопсией 07.05.2026****Общий анализ крови + СОЭ**

| Показатель | Результат | Единицы             | Референс  |
|------------|-----------|---------------------|-----------|
| СОЭ (ESR)  | 25 ↑      | mm/h                | <20       |
| RBC        | 4.70      | 10 <sup>12</sup> /L | 4.4–5.7   |
| HGB        | 11.8 ↓    | g/dL                | 13.5–17.5 |
| HCT        | 37.9 ↓    | %                   | 40–50     |
| MCV        | 80.6      | fL                  | 80–97     |
| PLT        | 277       | 10 <sup>9</sup> /L  | 150–400   |
| PCT        | 0.27      | %                   | 0.12–0.35 |
| NEUT %     | 78.7 ↑    | %                   | 50–70     |
| NEUT #     | 13.15 ↑   | 10 <sup>9</sup> /L  | 2–7       |
| LYMPH %    | 15.9 ↓    | %                   | 20–40     |
| LYMPH #    | 2.65      | 10 <sup>9</sup> /L  | 0.8–4     |
| MONO %     | 5.2       | %                   | 4–10      |
| MONO #     | 0.86      | 10 <sup>9</sup> /L  | 0.2–1     |

| Показатель       | Результат | Единицы | Референс |
|------------------|-----------|---------|----------|
| Креатинин (CREA) | 91        | μmol/L  | 50–100   |

**Коагулограмма**

| Показатель       | Результат | Единицы | Референс |
|------------------|-----------|---------|----------|
| APTT             | 33.1      | сек     | 23–37    |
| PT               | 15.8      | сек     | 9–16     |
| PI%              | 80        | %       | 75–110   |
| INR              | 1.17      | —       | 0.9–1.3  |
| Фибриноген (FIB) | 5.78 ↑    | g/L     | 2–4      |
| TT               | 18.2      | сек     | 14–20    |

**Обращение в амбулаторию: 08.05.2026 г.**

**Заключение о состоянии здоровья:**

**Основное заболевание /ICD/**

D41.0 – невыявленное или неизвестное состояние опухоли левой почки.

**Краткий анамнез**

У Пациента выявлена неврологическая симптоматика, ограниченность ходьбы и движения, проведены дополнительные исследования. В головном мозге выявлено повреждение типа МТС, по КТ брюшной полости - нарост.

В обоих многочисленных, раного размера и интенсивности узлы максимальным размером справа – 688 (в VI сегменте), слева -4,3 см (в VII сегменте) На уровне IV сегмента правого лёгкого определяется частично кальцинированный узелок размером 14 мм.

В правой доле печени определяется гиповаскулярный очаг (метастатическое поражение) — 13 мм (сегмент VIII).

В плевре жидкость и в перикардии плевре жидкость не проявляется. Размеры сердца не увеличены. Простота выделяется своей четкой структурой.

**Выполненные диагностические исследования и консультации**

**08.05.2026 - консультация по интервенционной радиологии пациенту** – срочном порядке требуется биопсия левой почки с ультразвуковым контролем, с морфологической и иммуногистохимической верификацией.

**Проведенное лечение:** Пациенту, лежащему на спине, проведено ультразвуковое исследование, была подобрана точка для пункции, слева от эпигастриума. После обработки кожи и местной анестезии (5 мл 2% раствор лидокаина в зоне точки пункции) с отметиной в коже, с контролем ультразвуком, из левой почки, с одной третьей средней нижней части, новообразования при помощи биопистолета с иглой 18 G была взята ткань. Был получен беловатый материал в виде цилиндра длиной 22 мм, который был помещен в пробирку с формалином. Материал был отправлен в лабораторию для морфологического исследования. Пациент был переведен в наблюдательную палату, где ему на живот на место укола был приложен лед – продолжительность - 2 часа.

14.04.2026 – 27.04.2026 RAD 7: Палиативная радиотерапия трехмерно (3D, VMAT, IMAT, GATING) стационарных условиях NSCP. Палиативная лучевая терапия метастазов (МТС) наибольший (n=1): Разовая доза – 20 грей, 1 фракция, суммарная доза 20 грей. МТС облучались по отдельности.

**Состояние Пациента:** Удовлетворительное. Состояние при выписке: Без изменения. Преимущественно лежачий режим – 1 день; под наблюдением лечащего онколога.

Пациент находится под постоянным неинвазивным мониторингом. Дальнейшая информация будет представлена.

UDC: 616-006+615.03

# INTEGRATING CLINICAL PHARMACOLOGY AND HOSPITAL PHARMACY IN ONCOLOGY: ADVANCES IN CHEMOTHERAPY, TARGETED THERAPY AND ANTICANCER DRUG DEVELOPMENT

**Arman Khozhayev**

Professor of the S.N. Nugmanov Department of Oncology, Oncologist, Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

**Daniyar Murat**

Pharmacist-Technologist, Drug Supply Service, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Aksultan Aday**

Pharmacist-Technologist, Department of Clinical Pharmacology and Hospital Pharmacy, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Assel Bayazitova**

Pharmacist-Technologist, Department of Clinical Pharmacology and Hospital Pharmacy, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Alua Ashirova**

Pharmacist-Technologist, Department of Clinical Pharmacology and Hospital Pharmacy, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Ayzat Namet**

Pharmacist-Analyst, Department of Clinical Pharmacology and Hospital Pharmacy, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Sabira Dukenbay**

Pharmacist-Technician, Drug Supply Service, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Nursultan Nauryzbay**

Pharmacist-Technician, Drug Supply Service, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Gaukhar Ablash**

Pharmacist-Technician, Drug Supply Service, Almaty Oncology Center, Almaty, Kazakhstan

**Annotation:** Cancer continues to be a leading cause of mortality worldwide, underscoring the need for more effective therapeutic strategies. Recent advances in chemotherapy, targeted therapy, and clinical pharmacology have substantially enhanced treatment outcomes and safety profiles. A comprehensive understanding of pharmacokinetics, pharmacodynamics, drug–drug interactions, and metabolism of anticancer agents is critical for optimizing therapeutic regimens and reducing toxicity. The integration of pharmacogenomic and molecular data into clinical decision-making represents a key direction in modern oncology and chemotherapy, facilitating the implementation of personalized medicine and improving patient quality of life.

**Key words:** oncology, clinical pharmacology, hospital pharmacy, chemotherapy, targeted therapy, anticancer therapy, pharmacokinetics, pharmacodynamics, pharmacogenomics,

biomarkers, personalized medicine, drug development, toxicity.

Oncology is a field in which dosage errors, treatment delays, or inappropriate therapy selection can have disastrous consequences. Clinical pharmacology (CP), serving as a bridge between laboratory pharmacology, clinical trials, and practical oncology, plays a critical role. It ensures: 1) informed dose and administration selection; 2) assessment of interactions and toxicity; 3) individualization of therapy based on the patient and tumor.

Cancer remains one of the leading causes of death worldwide. According to the World Health Organization (WHO, 2024), more than 20 million new cases of malignant neoplasms are registered annually, and the projected increase in incidence requires continuous improvement in therapeutic approaches. Therefore, clinical pharmacology in oncology plays a key role in ensuring the rational, safe, and personalized use of anticancer drugs. Modern CP integrates knowledge of pharmacokinetics (PKs), pharmacodynamics (PDs), pharmacogenomics (PGs), and drug-drug interactions (DDIs) to optimize dosing, improve treatment efficacy, and reduce the risk of toxicity. Advances in molecular genetic technologies have enabled a shift from empirical cytostatic drug administration to personalized treatment strategies that take into account the patient's genetic and metabolic characteristics. Particular attention is paid to studying the mechanisms of drug resistance, DDIs, and biomarkers of treatment efficacy.

CP is a key element of modern oncology, especially with the growth of new treatment modalities. Dose optimization, monitoring, and understanding PKs and PDs in populations with specific characteristics will help improve efficacy and safety. Thus, CP in oncology represents a fundamental basis for the development of individualized treatment regimens aimed at improving patient survival and quality of life, as well as the rational use of pharmaceutical resources in the healthcare system.

According to Kruse M. et al. [1] every drug development (DD) is a complex and long journey. CP is an essential discipline in modern DD. With its applications, computational modelling, and simulation techniques, it can significantly contribute to the efficiency in DD today. CP is the science of studying the effects of drugs in humans and their optimal clinical use in patients. There are two major components that help us understand a drug's behaviour; the first is how a drug moves within the body (PK) and the other is what a drug does to the body's functions (PD). Understanding both aspects of CP is an essential part of DD. When PK and PD are integrated in a model, the model can describe how the drug effect will change with time when a certain dosing regimen is used. Ultimately, a goal of what is often a lengthy and costly DD process is to ensure that the right patient receives the right drug at an optimal dose, given at the right time. CP provides a toolset that enables drug developers to make decisions that facilitate this process and help clinicians finding the right dose.

Research shows that the overall DD process is an iterative continuum of activities and not strictly linear in nature. Not all studies are always necessary to be conducted for every molecule and in fact the physicochemical nature of the drug determines which studies are required for a submission. Some studies may be waived if an adequate plan is set out and sufficient information is collected during other studies, e.g. on QTc assessment or a renal impairment study may be waived if the unchanged drug and its major active metabolites are eliminated primarily via non-renal and non-hepatic routes. The trend for an increasing number of biologically derived products with their different PK, PD, physiological, and pharmacological properties compared to chemically derived products has led to differences in requirements for small and large molecules. Ultimately, the size of the molecule and the specificity of its target binding determine the clinical development programme. In recent years, efforts have been made to increase the output and reduce the attrition rate of drugs, particularly before investing in timely and costly Phase 3 trials. Too often, DD has continued beyond the early phases due to pressure on research teams to be successful



and a poorly informed decision-making process with a hesitancy in ‘killing a drug’ that is unlikely to meet its primary endpoints. While any drug must be safe and efficacious to benefit a patient, this information is not available during the early phase of clinical development. Safety may only be available in healthy volunteers, or a few patients and studies usually are not designed to assess efficacy outcomes. PK and PD data are the instruments to understand the drug’s behaviour in the body and its target engagement. For obtaining high-quality PK and PD data, the right study design is key. It should not only reflect the most appropriate dosing scheme with adequate PK and PD sampling times but also the conditions, restrictions, and other factors (e.g. disease, genetics) potentially influencing these outcome variables. Hereby, the early identification of intrinsic differences between races, sexes, age groups, and other covariates potentially affecting a drug’s concentration and its pharmacology can be used to improve study designs in the future and inform interactions with regulatory bodies. Moreover, for the developer, a thorough early characterisation of PD effects can potentially avoid or simplify expensive clinical studies. One example is the capture of quality electrocardiograms in early single and multiple ascending dose studies to assess a drug’s potential on QT prolongation which could avoid a thorough QT study at a later development stage. A concept where PK is most instrumental in DD is establishing bioequivalence for generic products. To receive approval, applicants have to demonstrate that a proposed drug product is bioequivalent, i.e. has the same rate and extent of absorption, to a reference product. To solely rely on PK is based on the principle that systemic exposure is a surrogate for effects of the drug (efficacy, safety). Efficacy does not need to be determined if the exposure is comparable between the generic and the reference drug. Ultimately, such ‘abbreviated development’ saves a lot of resources and avoids unnecessary replication of prior work performed for the reference drug. Conceptually, PK, PD, and biomarkers (PD or non-PD) can be considered ‘surrogates’ for the clinical efficacy and safety of a drug once their relationship is known and predictable. The most extreme example is the aforementioned bioequivalence concept in generic DD where PK is the only surrogate for its safety and efficacy. Rationale DD therefore requires a thorough understanding of these parameters and its relationship to the safety and efficacy [1].

As noted by Papachristos A. et al. [2], accelerated clinical development of anticancer drugs is crucial to ensure patients’ access to the most safe and effective treatments. At the same time, the development process should be designed to ensure that the optimal dose and schedule are administered. Therefore, pharmacological methods such as PGs, PKs, and PDs must be integrated to inform oncology DD and dose optimization. Drugs’ safety and effectiveness are evaluated in randomized, dose-ranging trials in most therapeutic areas. However, this is only sometimes feasible in oncology, and dose-ranging studies are mainly limited to Phase 1 clinical trials. Moreover, although new treatment modalities (e.g., small molecule targeted therapies, biologics, and antibody-drug conjugates) present different characteristics compared to cytotoxic agents (e.g., target saturation limits, wider therapeutic index, fewer off-target side effects), in most cases, the design of Phase 1 studies and the dose selection is still based on the Maximum Tolerated Dose (MTD) approach used for the development of cytotoxic agents. Therefore, the dose was not optimized in some cases and was modified post-marketing (e.g., ceritinib, dasatinib, niraparib, ponatinib, cabazitaxel, and gemtuzumab-ozogamicin). The Food and Drug Administration (FDA) recognized the drawbacks of this approach and, in 2021, launched Project Optimus, which provides the framework and guidance for dose optimization during the clinical development stages of anticancer agents. Since dose optimization is crucial in clinical development, especially of targeted therapies, it is necessary to identify the role of pharmacological tools such as PGs, therapeutic drug monitoring, and PDs, which could be integrated into all phases of DD and support dose optimization, as well as the chances of positive clinical outcomes.

In their work, the authors point out that the choice of dose selection is an ongoing

challenge in developing new anticancer agents. The design of early clinical studies based on the pharmacological characteristics of the drug is essential to ensure a successful development plan, but it is not always feasible, as it requires rapid approval following a sequential Phase 1-3 trial. In a majority of cases, experience shows that a personalized approach in dosing based on the characteristics of each patient and each drug could improve the safety and efficacy of the treatment. In clinical trials, the current approach is to follow the standard 3+3 design to assess dose-limiting toxicities. This approach is valuable and informative for the old cytotoxic agents, but it is problematic for the newer modalities such as tyrosine kinase inhibitors, biologics, and antibody-drug conjugates (ADCs). As a result, there are many cases of approved drugs requiring dose modifications later based on post-marketing studies requested by the FDA or performed by the research community. A new paradigm for designing clinical trials that will precisely assess and define the optimal dose of new anticancer agents will accelerate drug approval and allow for more successful and safer drugs to enter the market [2].

Malhi V. et al. indicate that [3], the clinical development journey of novel pharmaceuticals is a complex multistage process, which continues to evolve as our understanding of disease biology deepens, new therapeutic entities and classes of drugs are designed, and regulatory mechanisms adapt to the changing therapeutic landscape. One of the objectives of clinical pharmacology is to characterize PKs by understanding the absorption, distribution, metabolism, and excretion (ADME) pathways of the drug in the body. Another major objective is to determine how drug concentrations are altered by intrinsic and extrinsic factors. Intrinsic factors are inherent to a person and include age, sex, race, genomics, and organ function, whereas extrinsic factors are external influences that may affect drug exposure, such as concomitant medications or the type of food ingested around the time of drug administration. Finally, the main goal of clinical pharmacology is to justify the dose based on the relationship between exposure and biological response, which can be assessed in terms of efficacy, safety, or PDs biomarkers.

In their work, the authors describe the clinical pharmacology characterization of giredestrant, a highly potent nonsteroidal oral selective estrogen receptor (ER) antagonist and degrader. Giredestrant was designed to optimize ER antagonism and degradation, while minimizing off-target toxicity. Several oral selective estrogen receptor degraders are in clinical development, all with distinct physicochemical and PKs properties. Variations in these characteristics, such as unfavorable PK attributes [including nonlinear PKs, food effects, or drug-drug interactions (DDIs) with combination partners] may affect dosing, efficacy, and safety. This first-in-human phase Ia/Ib dose-escalation/-expansion study was designed to evaluate the safety, PKs, PDs, and preliminary antitumor activity of giredestrant. In particular, the PKs were evaluated by characterizing the ADME of giredestrant, and generated signal-seeking data on the impact of certain intrinsic factors (including race and organ dysfunction) and extrinsic factors (including the effect of food and DDIs) on giredestrant exposure. This multicenter nonrandomized open-label dose-escalation and -expansion phase Ia/Ib study evaluated the safety, PKs, PDs, and preliminary antitumor activity of giredestrant alone and in combination with palbociclib in patients with ER-positive (ER+) human epidermal growth factor receptor 2 (HER2)-negative locally advanced/metastatic breast cancer. In brief, eligible patients had advanced or metastatic ER+/HER2-negative breast cancer that had recurred or progressed while being treated with adjuvant endocrine therapy (ET) for  $\geq 24$  months and/or ET in the incurable, locally advanced, or metastatic setting and derived a clinical benefit from therapy (i.e., tumor response or stable disease for  $\geq 6$  months); had not received any other ET, targeted therapy, or chemotherapy within the preceding 2 weeks; and were postmenopausal women (or premenopausal/perimenopausal women simultaneously receiving luteinizing hormone-releasing hormone agonists). To enroll a racially diverse population, the study was performed globally at sites in Europe, North America, Asia, and Australia. In the single-agent dose-escalation stage, giredestrant was administered orally

once daily on days 1-28 of each 28-day cycle at 10, 30, 90, or 250 mg. A single dose was administered on cycle 1 day -7, followed by a 7-day PK lead-in for all single-agent giredestrant dose-escalation cohorts. In addition, a combination cohort in the dose-escalation stage explored giredestrant 100 mg once daily (days 1-28) in combination with palbociclib 125 mg once daily (days 1-21), repeated every 28 days. In the expansion stage, single-agent expansion cohorts evaluated giredestrant at doses of 30, 100, and 250 mg once daily. A combination expansion cohort evaluated giredestrant 100 mg with palbociclib 125 mg [3].

In the single-agent dose-escalation stage, PK samples were collected at cycle 1 day -7 predose and then at 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, 8, 24, 28, 72, 96, and 168 hours after dosing to characterize the single-dose PK profile and estimate the terminal half-life. Samples to determine the steady-state PK profile were collected at cycle 2 day 1 (after 28 days of daily giredestrant) predose and at 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6, and 8 hours after dosing. Metabolite identification was conducted following the first dose (cycle 1 day -7) and at steady state (cycle 2 day 1) in 6 patients (3 patients at 90 mg and 3 at 250 mg). Plasma samples were pooled across patients and timepoints. The cytochrome P450 (CYP) 3A induction potential of giredestrant was evaluated in vivo by assessing 4 $\beta$ -hydroxycholesterol (4 $\beta$ -HC), an endogenous biomarker formed by CYP3A metabolism in humans. 4 $\beta$ -HC concentration was measured at cycle 1 day -7, cycle 2 day 1, cycle 3 day 1, and cycle 4 day 1 predose in 7 patients (5 patients at 30 mg and 2 at 90 mg). Analysis was conducted ad hoc, in compliance with the informed consent, in patients from whom there was sufficient plasma volume remaining for the assessment after completion of prespecified analyses. Giredestrant concentrations in urine samples were measured at cycle 1 day 1 predose and cycle 2 day 1 at 0-8 hours postdose. Urine samples were collected from 13 patients (7 patients at 30 mg, 5 at 100 mg, 1 at 250 mg). PK parameters for giredestrant were calculated from the plasma concentration-time data according to standard noncompartmental analysis methods using Phoenix WinNonlin (version 8.3.4; Certara USA, Inc.). Noncompartmental analyses were conducted in PK-evaluable patients, defined as those having at least one nonzero postdose plasma concentration. Patients with dose reductions, sparse PK samples, incomplete PK profiles, or incorrect dosing information during PK sampling were not included in the noncompartmental analysis. The concentrations of giredestrant in plasma were measured using validated liquid chromatography with tandem mass spectrometry (LC/MS-MS) assays. Giredestrant and its internal standard [(13C8, 15N) GDC 9545] were extracted from human plasma by supported liquid extraction (SLE). Giredestrant concentrations were calculated using a standard curve with a 1/x<sup>2</sup> linear regression over concentration ranges of 1 to 1,000 ng/mL or 0.1 to 100 ng/mL. The concentrations of giredestrant in urine were measured using a qualified LC/MS-MS assay. Giredestrant and its internal standard were also extracted from human urine by SLE. Giredestrant concentrations were calculated using a standard curve with a 1/x<sup>2</sup> linear regression over a concentration range of 0.25 to 250 ng/mL. Concentrations of 4 $\beta$ -HC were measured using an LC/MS-MS assay that was developed and validated in human plasma. 4 $\beta$ -HC and its internal standard 4 $\beta$ -HC-d7 were extracted from human plasma by SLE. 4 $\beta$ -HC concentrations were calculated using a standard curve with a 1/x<sup>2</sup> linear regression over a concentration range of 4 to 100 ng/mL. For plasma, urine, and 4 $\beta$ -HC assays, the mass spectrometer was operated in positive electrospray ionization mode under optimized conditions with multiple reaction monitoring of analytes and internal standards. The precision and accuracy of assays were satisfactory throughout the study. For metabolite identification, plasma samples were extracted by protein precipitation. Parent and metabolites were analyzed by LC and high-resolution MS. The metabolite structures were proposed on the basis of fragmentation patterns and comparison with those of the parent. In the single-agent dose-escalation stage, giredestrant was taken under fasted conditions (fasted for  $\geq 6$  hours overnight) until cycle 4 day 1. To explore whether giredestrant had a potential food effect, patients in the single-agent dose-expansion cohorts were able to take

giredetrant with or without food, and were asked to complete a food diary at cycle 2 day 1. Patients who had reported fasting for longer than 6 hours before giredetrant dosing were considered as fasted. The study was conducted in accordance with the protocol and the consensus ethical principles derived from international guidelines including the Declaration of Helsinki and Council for International Organizations of Medical Sciences International Ethical Guidelines for Health-Related Research Involving Humans, relevant International Conference on Harmonisation Good Clinical Practice guidelines, and applicable laws and regulations. All patients provided written informed consent [3].

In the work of Lazarou G. et al. [4] the authors say that application of contemporary molecular biology techniques to clinical samples in oncology resulted in the accumulation of unprecedented experimental data. These “omics” data are mined for discovery of therapeutic target combinations and diagnostic biomarkers. It is less appreciated that omics resources could also revolutionize development of the mechanistic models informing clinical pharmacology quantitative decisions about dose amount, timing, and sequence. In their study, they demonstrate how mechanistic models of cancer immunotherapy in humans can be informed by state-of-the-art molecular and cell biology data on clinical tumor biopsies and samples of healthy peripheral blood and tissue, which have recently become available. Mechanistic models expand the applicability of these data beyond target identification and biomarker discovery – they allow quantitative predictions of dose amount sequence and timing. Although there are still gaps in quantitative knowledge, which necessitate incorporation of machine-learning predictions and model assumptions, the authors that the recent publication of landmark omics resources in immuno-oncology (IO) will motivate further effort and that much more data will be available soon. They also hope that increasing adoption of mechanistic modeling to integrate these data will direct experimental work, especially in areas where absolute reference data are needed. Our colleagues convinced that, as new omics data accumulate, confidence in virtual trial simulations with clinical Quantitative Systems Pharmacology (QSP) models integrating these data will increase, and that these models will be making increasing impact in development of new cancer immunotherapies.

Ramasubbu M.K. et al. [5] emphasize that QSP is an innovative and integrative approach combining physiology and pharmacology to accelerate medical research. By considering receptor-ligand interactions of various cell types, metabolic pathways, signaling networks, and disease biomarkers simultaneously, QSP provides a holistic understanding of interactions between the human body, diseases, and drugs. Integrating knowledge across multiple time and space scales enhances versatility, enabling insights into personalized responses and general trends. QSP consolidates vast data into robust mathematical models, predicting clinical trial outcomes and optimizing dosing based on preclinical data. QSP operates under a “learn and confirm paradigm,” integrating experimental findings to generate testable hypotheses and refine them through precise experimental designs. An interdisciplinary collaboration involving expertise in pharmacology, biochemistry, genetics, mathematics, and medicine is vital. QSP’s utility in DD is demonstrated through integration in various stages, predicting drug responses, optimizing dosing, and evaluating combination therapies. In addition to its prominent role in DD, QSP extends its applications to inform health care and life sciences. It can align with increasingly significant technologies such as physiological monitors, wearable devices, personalized medicine, and artificial intelligence-informed health care. By leveraging QSP, health-care professionals and researchers can gain valuable insights into the intricate relationships between interventions and patient physiology, ultimately contributing to more effective and personalized health-care strategies. This broader utility of QSP showcases its potential to revolutionize various aspects of health care and life sciences beyond traditional DD.

The authors' analysis found that integrating QSP approaches in DD has shown promising results in various aspects of the field. By mechanistically modeling drug PK and PD alongside

disease pathophysiology, QSP provides valuable insights and has the potential to address key challenges in the DD process. QSP has demonstrated its ability to identify optimal targets and biomarkers for specific diseases, improve therapeutic effectiveness through drug combination strategies, predict human response doses based on preclinical data, and repurpose existing drugs for new indications. In addition, QSP can facilitate individualized dosing regimens based on patient characteristics, leading to the adoption of personalized medicine and potentially enhancing treatment outcomes. Training and fostering multidisciplinary expertise at scale are essential to proposing, developing, and effectively communicating QSP modeling analyses. Pharmacologists, with their clinical research training and understanding of pathology and pharmacotherapy, can play a vital role in bridging the gap between physiologists and modeling engineers. They can act as interpreters, utilizing the expertise of QSP teams to support decision-making in the clinical trial process and the development of novel molecules [5].

Ramasubbu M.K. et al. [5] citing the works of Bai J.P.F. [6,7], they note that over the years, there has been growing awareness of QSP approaches within regulatory authorities as modeling techniques become more prevalent in DD. Regulatory agencies, including the FDA, have issued recommendations that should be applied to all QSP modeling practices. These recommendations are designed to ensure the reliability and transparency of QSP models and include the following key points: 1) achieving the appropriate qualification and validation of a QSP model relies on finding a suitable balance between the available data for model calibration/validation and ensuring alignment with the underlying physiological mechanisms involved; 2) model reproducibility and transparency are crucial aspects that allow reviewers to access all parameters and equations utilized in the model, facilitating the replication and interpretation of simulation outcomes; 3) the QSP model should incorporate relevant PD indicators and clinical endpoints of the drug candidate, with the level of molecular granularity in detail based on the intended use (whether it's for preclinical or clinical stages); utilizing a preclinical model for late-stage clinical development can lead to identifiability and uncertainty issues, so appropriate modifications or the development of a new clinical-oriented model may be necessary; 4) similar to clinical trials, predetermined quantitative and statistical criteria should be established to guide the decision-making process when accepting QSP model extrapolation; these criteria should be dependent on the specific decision risk being made. Over the past few years, there has been a significant rise in the number of regulatory submissions documenting the utilization of QSP modeling: 1) landscape analysis revealed a consistent and substantial increase in QSP submissions from 2013 to 2020, with a total of 157 identified submissions, of which 57 were recorded in 2020 alone; 2) QSP submissions were observed across all stages of DD, with the majority being in the investigational new drug stage, indicating widespread utilization of QSP in early DD; 3) QSP models found application in various therapeutic areas, including oncology, infectious diseases, neurology, nephrology, and cardiology, with oncology being the most prominent area of interest among the submissions; 4) the versatility of QSP applications was evident in the submissions, as they addressed a wide range of efficacy and safety-related questions; efficacy-focused inquiries primarily centered around dosing strategies, encompassing Phase I dose-finding and escalation, Phase II dose-range studies, and Phase III dose selection; safety applications covered liver toxicity, plasma ion concentration, cardiotoxicity, and bone mineral density.

Chelliah V. et al. [8] in their work say that DD in oncology commonly exploits the tools of molecular biology to gain therapeutic benefit through reprogramming of cellular responses. In IO the aim is to direct the patient's own immune system to fight cancer. After remarkable successes of antibodies targeting programmed cell death protein 1 (PD1)/ programmed death ligand-1 (PD-L1) and cytotoxic T-lymphocyte antigen-4 (CTLA4) receptors in targeted patient populations, the focus of further development has shifted toward combination therapies. However, the current DD approach of exploiting a vast number of possible combination targets and dosing regimens has



proven to be challenging and is arguably inefficient. In particular, the unprecedented number of clinical trials testing different combinations may no longer be sustainable by the population of available patients. Further development in IO requires a step change in selection and validation of candidate therapies to decrease development attrition rate and limit the number of clinical trials. QSP proposes to tackle this challenge through mechanistic modeling and simulation. Compounds' PKs, target binding, and mechanisms of action as well as existing knowledge on the underlying tumor and immune system biology are described by quantitative, dynamic models aiming to predict clinical results for novel combinations. In light of the unprecedented number of ongoing and planned clinical trials and preclinical programs for IO combination therapies and the emergence of examples of late-stage attrition, there is an urgent need to improve the process of selecting candidate therapies and improve the design of trials to increase the chances of success and terminate low-value programs prior to clinical testing. QSP models integrate existing mechanistic knowledge on disease and drug PK/PD in a quantitative framework allowing simulation of virtual trials, where candidate drug combinations are evaluated *in silico* before being tested in the clinic. Although development of full-scale platform models allowing virtual screening of large numbers of candidate therapies became possible only recently, the current QSP approaches capitalize on the legacy of 3 decades of progress in mathematical and systems biology. Recently developed QSP models have started to demonstrate their potential in actual DD case studies that indicate both feasibility and benefit of the approach. Based on these early results, our colleagues predict that QSP models will increasingly be used in IO DD and that it will soon become standard practice to run virtual trials ahead of and in parallel with clinical trials to more quickly bring better therapeutics to patients with cancer.

Liu SN, Li C. in their study [9] note that ADCs are important molecular entities in the treatment of cancer. These conjugates combine the target specificity of monoclonal antibodies with the potent anti-cancer activity of small-molecule therapeutics. The complex structure of ADCs poses unique challenges to characterize the drug's PKs and PDs since it requires a quantitative understanding of the PK and PD properties of multiple different molecular species (e.g., ADC conjugate, total antibody and unconjugated cytotoxic drug). As a result, clinical pharmacology strategy of an ADC is rather unique and dependent on the linker/cytotoxic drug technology, heterogeneity of the ADC, PK and safety/efficacy profile of the specific ADC in clinical development. In the course of the study, the authors state that ADCs represent a rapidly evolving area of oncology DD and hold significant promise. The complex structure of ADCs poses unique challenges to clinical pharmacology strategy in supporting development and approval of ADCs, since it requires a quantitative understanding of the PK and PD properties of multiple different molecular species (e.g., ADC conjugate, total antibody and unconjugated payload) in the systemic circulation and/or tissues of interest (e.g., tumors). Integration of diverse clinical pharmacology approaches, ranging from dedicated clinical pharmacology studies (e.g., DDI, QTc-interval, renal/hepatic impairment study) to mechanistic and/or empirical models (e.g., physiologically based pharmacokinetic, population PK modeling for one- or two- analytes, exposure-response analysis) can provide insights into the PK, PD and ADME properties of an ADC and inform development decision and clinical dose and schedule selection. An additional consideration for clinical development includes the thorough assessment of immunogenicity on ADC PK, efficacy, and safety. As the field continues to evolve, the selection of suitable ADC targets and the identification of a target population remain critical challenges. Efforts to further optimize "next-generation" ADCs using engineered antibodies, innovative linkers, conjugation methods, and novel payloads are rapidly advancing. Despite the great success of ADCs, it is worth noting that the therapeutic window for ADCs remains relatively narrow with the MTD often reached before ADCs achieve the maximum efficacious dose. Additionally, the toxicities associated with the ADCs might dictate the number of treatment cycles that the patients can tolerate and often result in

dose delay, dose reductions or study discontinuation. The future success of ADCs in part will depend on our ability to overcome these developmental challenges, especially by developing clear strategies to optimize the dose and schedule of ADCs and identifying predictive biomarkers to assess response, optimize patient selection, and inform potential combination therapies.

Huang W. et al. [10] in their work concerning the prospects of CP perspectives for adoptive cell therapies in oncology indicate that adoptive cell therapies (ACTs) have shown transformative efficacy in oncology with five US FDA approvals for chimeric antigen receptor (CAR) T-cell therapies in hematological malignancies, and promising activity for T cell receptor T-cell therapies in both liquid and solid tumors. CP can play a pivotal role in optimizing ACTs, aided by modeling and simulation toolboxes and deep understanding of the underlying biological and immunological processes. Close collaboration and multilevel data integration across functions, including chemistry, manufacturing, and control, biomarkers, bioanalytical, and clinical science and safety teams will be critical to ACT development. As ACT is comprised of alive, polyfunctional, and heterogeneous immune cells, its overall physicochemical and pharmacological property is vastly different from other platforms/modalities, such as small molecule and protein therapeutics. In this work, researchers first describe the unique kinetics of T cells and the appropriate bioanalytical strategies to characterize cellular kinetics. They then assess the distinct aspects of CP for ACTs in comparison to traditional small molecule and protein therapeutics. Additionally, authors provide a review for the five FDA-approved CAR T-cell therapies and summarize their properties, cellular kinetic characteristics, dose-exposure-response relationship, and potential baseline factors/variables in product, patient, and regimen that may affect the safety and efficacy. Finally, they probe into existing empirical and mechanistic quantitative techniques to understand how various modeling and simulation approaches can support CP strategy and propose key considerations to be incorporated and explored in future models.

As our colleagues note the central tenet of pharmacology necessitates deep understanding of drug kinetics as it is critically related to efficacy and toxicity. At the apparent level, the kinetic profiles of both small molecules and protein therapeutics (SMs/PTs) and ACTs are multiphasic; however, the underlying mechanisms are fundamentally different. Due to the unique properties and kinetics of ACTs, several traditional CP considerations/lessons learned from SM/PT are either unknown or less applicable. Some examples include: (1) the impact of renal and hepatic impairment on cellular kinetics has not been reported; (2) the effect from food, formulation, and acid reducing agents are not relevant due to the intravenous administration of ACT; (3) the traditional half-life driven dosing frequency may not be suitable as the memory cells can be reactivated; and (4) the concept of dose proportionality is less applicable because the drug can be generated *de novo* by cellular expansion driven by many factors (e.g., host immune status and tumor immunogenicity) that are unrelated to dose [10].

ACT is a complex and novel modality that has shown tremendous promise for treating cancer, with five FDA-approved CAR T cell therapies so far. Along with the technology and regulatory guidance, the CP aspect of this new treatment modality is still evolving. As the core purpose of CP is to determine the best dose/product (i.e., what) for the most appropriate patient (i.e., who) with the optimal conditioning/administration regimen (i.e., how), it is critical to understand the complex interaction between T cells and host biology/disease to identify key factors that we can control and relate to safety and efficacy. Several control points include product characteristics (i.e., dose, fitness, phenotype, and subset of both apheresis product and infusion product), patient characteristics (i.e., demographic information, tumor type, tumor burden, and tumor microenvironment), and regimen characteristics (timing and type of conditioning therapy, comedications, single vs. multiple infusion, and intravenous vs. regional injection). The large number of ACT control points demonstrate the uniqueness of this therapeutic modality compared with SM/PT, necessitating close collaboration of CP with biomarker, bioanalytical, chemistry,



manufacturing, and control, and clinical science and safety teams. As our understanding of these control points improves and/or more homogenous cellular products are developed, clinical pharmacologists will have opportunities to better guide dose selection (first-in-human), escalation/expansion (phase I), and determination (pivotal) to optimize ACT development. To ensure optimal clinical development, clinical pharmacologists can contribute by applying quantitative methodologies, including: (1) translational PK/PD modeling to optimize product, patient, and regimen characteristics before the first-in-human study; (2) real-time statistical/machine learning approaches to forecast severe toxicity probability and mitigate risk during the clinical study; and (3) nonlinear mixed-effect and QSP modeling to gain deep insight and design future studies more appropriately with optimal selection of dose, patient, and regimen. Given the complexity and cost of delivering these therapies, initial studies may generate rich, robust, and multilevel datasets of T cell, biomarker, safety, and efficacy data, but in a relatively small number of patients. Therefore, integration of data across internal ACTs and externally published ACTs will be critical to drawing conclusions and informing decision making. As the field evolves and additional key drivers of safety and efficacy are elucidated, banking and preserving tissues may prove valuable as samples can be re-assayed for new biomarkers or other characteristics. These quantitative methodologies and infrastructure are anticipated to transfer well to the next generation of cell therapies, including T cell receptor (TCR)-T, Natural killer NK-T, and off the shelf/allogeneic cell systems and individualized therapies targeting tumor-specific private neo-antigens [10].

Advances in IO have provided a variety of novel therapeutics that harness the innate immune system to identify and destroy neoplastic cells. It is noteworthy that acceptable safety profiles accompany the development of these targeted therapies, which result in efficacious cancer treatment with higher survival rates and lower toxicities [11]. Kast J. et al. in their study say that ACT has shown promising results in inducing sustainable remissions in patients suffering from refractory diseases. Two main types of ACT include engineered CAR-T cells and TCR T cells. The application of these immuno-therapies in the last few years has been successful and has demonstrated a safe and rapid treatment regimen for solid and non-solid tumors. The authors emphasize that the clinical success of immunotherapy, which is due to the understanding of cancer immunobiology and effective application of this knowledge to eliminate cancerous cells, has changed the field of cancer therapy. Currently, immunotherapy is considered as one of the most important and effective approaches of cancer care. The success of genetically modified CAR-T cells has created substantial excitement among Biotech companies and researchers. In this regard, the scientific communities have produced tremendous efforts in developing abundant quantitative approaches for CAR-T cells that can assist the safety and efficacy evaluation of CAR-T cell products.

The prevalence of and factors associated with treatment modification at first cycle in older adults with advanced cancer receiving palliative treatment were reported by Mohamed M.R. et al. [12]. The authors say that treatment toxicities are common in older adults with cancer and consequently, treatment modifications are sometimes considered. They evaluated the prevalence and factors associated with treatment modifications at the first cycle in older patients receiving palliative systemic treatment. The aims of this study were 1) to examine the prevalence of treatment modifications at cycle 1 in a cohort of older adults with advanced cancer receiving palliative systemic treatment, and 2) to identify baseline factors, including socio-demographic variables, clinical variables, geriatric assessment (GA) domains, and physician beliefs that are associated with treatment modifications. As an exploratory analysis, we also investigated the possible moderation effect of chronological age on the association of baseline factors with treatment modifications.

Our colleagues collected the following baseline information after patients provided

informed consent and before they started a new line of palliative cancer treatment. Socio-demographic variables included age (continuous variable), gender, race (White, Black, and others), education (less than high school, high school graduate, and some college or more), and income ( $\leq \$50,000$  and  $> \$50,000$ / declined to answer). Clinical variables included cancer type (gastrointestinal, lung, others), cancer stage (stage III, stage IV), line of palliative treatment (first versus second-line or greater), and physician-reported Karnofsky Performance Score (KPS) (40-60, 70-80, and 90-100). GA domains were captured using validated tools with established cut-offs for impairment including comorbidity, functional status, physical performance, cognition, social support, polypharmacy, psychological health, and nutritional status. Variables to assess physician beliefs about the prognosis of the disease included answers to the following questions: “How do you think cancer treatment will affect the patient’s quality of life?” (Improve versus no change or decrease), and “What would you estimate the patient’s overall life expectancy to be?” (0-12 months versus  $> 12$  months). Treatment modification at cycle 1 (at the beginning of the treatment course) was defined as any change in dose or agents of the planned regimen from the standard treatment guidelines (National Comprehensive Cancer Network [NCCN] guidelines) or published phase II/III clinical trials. Standard treatment “full dose” means regimens that meet the standard guidelines for dose and scheduling according to NCCN or published phase II/III trials. The planned regimens (individual drugs, doses, and schedule) were captured at the beginning of the study from the primary oncology team and reviewed by a blinded research team including at least two oncology clinicians and an information analyst. Modifications were classified as 1) dose reduction (i.e. chemotherapy dose lower than the established regimen); 2) modified schedule to administer chemotherapy less frequently than the established regimen (e.g. patient receives only Day 1 and Day 15 of a regimen with established schedule of Day 1, 8, 15); or 3) modified regimen (e.g. one or more chemotherapy agents are intentionally left out of a polychemotherapy regimen). The composite binary variable of treatment modification (standard versus non-standard) was constructed as the presence of any of these types of treatment modifications and served as the dependent variable in bivariate and multivariate analyses [12].

Descriptive statistics were performed to describe independent and dependent variables. Subsequently, bivariate analyses were conducted to evaluate the association between each of the baseline variables and treatment modification (standard or non-standard) at cycle 1. The researchers constructed multivariable cluster-weighted generalized estimating equations (GEE) model with a binary distribution, logit link, and robust standard errors to examine the independent associations of baseline covariates with treatment modification at cycle 1 accounting for correlations among patients from the same practice. The mean age of participants ( $n=369$ ) was 77.2 years (standard deviation 5.2 years; range 70-94). Overall, 54.7% were males, 94% were non-Hispanic Whites, and the majority (87.8%) had stage IV cancer. The most common cancer types were lung ( $n=116$ , 31.4%) and gastrointestinal ( $n=114$ , 30.9%). At the time of enrollment, 74.5% ( $n=275$ ) were scheduled to receive first-line chemotherapy, and 25.5% ( $n=94$ ) were scheduled to receive second-line or later treatment. Of 369 patients, 240 (65.0%) received standard regimens at cycle 1 according to NCCN guidelines or published clinical trials, and 129 (35.0%) received a modified treatment regimen. Of those patients with treatment modification, 79% ( $n=292$ ) received a regimen with a dose reduction, 12% ( $n=44$ ) received a different combination of agents (modified regimen), and 9% ( $n=33$ ) received a modified schedule. The mean age of patients who received a modified regimen was 78.6 years, compared to 76.6 years in patients who received standard regimens ( $p<0.01$ ). Patients who received treatment modifications were more likely to have functional impairments (66.4% versus 52.9%,  $p=0.01$ ) and had physician-estimated life expectancies of  $< 12$  months (43.4% versus 33.1%,  $p=0.04$ ). Treatment modifications at cycle 1 were also more likely in patients reporting lower incomes (57.8% of patients with yearly incomes  $\leq \$50,000$ , compared to 42.2% of patients with incomes  $> \$50,000$  and those who declined to

answer [ $p = 0.02$ ]). In addition, patients who received a modified treatment regimen were more likely to be receiving second line or later treatment (32.6% versus 21.7%,  $p=0.02$ ). There were no significant differences between groups (i.e. patients received standard vs treatment modification) across race, gender, education, cancer type, KPS, other impaired GA domains, or physician estimated impact of treatment on quality of life. In multivariable GEE regression, authors found that each additional year of age was associated with 10% increased odds of treatment modification at cycle 1. [odds ratio (OR) 1.1, 95% confidence interval (CI) 1.0-1.2]. Receipt of second or greater line of chemotherapy (OR 1.8, CI 1.1-3.0), functional impairment (OR 1.6, CI 1.1-2.3), and lower income (OR 1.7, CI 1.1-2.4) were also associated with increased odds of treatment modification at cycle 1. A significant moderation effect was found between patients' age and physician-estimated life expectancy for cycle 1 treatment modification ( $p=0.02$ ). In adjusted models and after stratification of the study population by age group (70-74 ( $n=136$ ), 75-79 ( $n=114$ ), and  $\geq 80$  ( $n=118$ )), researchers found that among patients aged 70-74 years, those who had an estimated life expectancy of more than one year had 2.5 times the odds of receiving standard of care doses compared to those who had a life expectancy of less than one year (CI 1.1-5.4). Among patients aged 75-79 years and patients  $\geq 80$  years, those who had life expectancies greater than one year had 1.3 (CI 0.6-3.1) and 1.2 (CI 0.5-2.6) times the odds of receiving standard of care doses compared to those had life expectancies of less than one year. Increasing age did not moderate the associations of functional status, physical performance, or cognition with treatment modification at cycle 1 ( $p>0.05$ ). Summarizing the results of the study, the authors note that in this large, nationwide study of older adults with advanced cancer receiving palliative treatment, our colleagues observed that 35% received a modified treatment regimen at cycle 1. Increasing age, lower income, functional impairment, and receipt of prior lines of treatment were associated with increased odds of treatment modification. Additionally, researchers observed chronologic age as a moderator in the relationship between life expectancy and treatment recommendations, suggesting that life expectancy is weighted more or less heavily in treatment decisions depending on chronologic age. The rate of treatment modification in this population emphasizes the importance of developing evidence-based treatment regimens for older adults with advanced cancer and GA impairments. Future studies should evaluate the longitudinal effect of cycle 1 treatment modifications in the advanced cancer setting on both cancer and patient-reported outcomes [12].

Shebley M. et al. in their work describe aspects of DD in pediatric oncology [13]. The authors point out that pediatric DD is a challenging process due to the rarity of the population, the need to meet regulatory requirements across the globe, the associated uncertainty in extrapolating data from adults, the paucity of validated biomarkers, and the lack of systematic testing of drugs in pediatric patients. In oncology, pediatric DD has additional challenges that have historically delayed availability of safe and effective medicines for children. In particular, the traditional approach to pediatric oncology DD involves conducting phase 1 studies in children once the drug has been characterized and in some cases approved for use in adults. Because it may be unethical and infeasible to conduct DDI trials in pediatrics in general and in oncology patients in particular, drug interaction results in adults are typically extrapolated to pediatrics based on the dosing considerations described above (ie, intrinsic factors that influence drug clearance). However, due to known physiologic and developmental differences between adults and children (ie, drug-metabolizing enzyme ontogeny), DDIs are often extrapolated using modeling and simulation approaches such as physiologically based pharmacokinetic, when the ontogeny of drug elimination pathways is well understood such as in the case of CYP3A-mediated metabolism. Not only does this provide a more scientifically robust approach to provide DDI recommendations and dose adjustment in children, but it also provides a platform to simulate scenarios that are otherwise impossible to test clinically and ethically. Furthermore, some chemotherapy regimens

differ even when the disease type is the same in children and adults, often due to the inability of older adults to tolerate a more intensive regimen (ie, PEG-L-asparaginase is always used in pediatric acute lymphocytic leukemia protocols but rarely in adult protocols). Therefore, DDI information on such combinations would be completely absent. It also may be impossible to adjust the chemotherapy dose (ie, lower dose/intensity) when introducing the new drug if DDI is suspected, since the new drug may not provide efficacy and the loss of benefit to the child from adjusting backbone therapy would leave the patients in a subtherapeutic window. This again highlights the need for a model-informed DD approach to provide the appropriate dosing instructions for concomitant drug administration in children.

As the authors note establishing an optimal starting dose of a convenient, age-appropriate formulation remains important for successful pediatric oncology DD. Use of modeling and simulation approaches must continue to advance to inform selection of safe and efficacious doses as early in the drug development process as possible and to avoid overexposing children to subtherapeutic doses. It is imperative that modeling and simulation approaches, together with identification and validation of additional PD end points, continue to evolve to enable development of the most effective therapies in the shortest amount of time. Additional research in both of these areas is warranted [13].

I would also like to dwell on such a fairly new direction in CP as chronopharmacology.

As Kaşkal M. et al. [14] emphasize in their work one of the goals of CP is to optimize patient treatment by adopting new treatment strategies which will increase the efficacy of the treatment and decrease the adverse effects of the drugs. In the literature, it has shown that the effectiveness and toxicity of medications can vary significantly based on when they are administered, making timing a crucial factor in treatment plans. Chronopharmacology a relatively new branch of CP focuses on adjusting drug administration times to enhance patient outcomes. Chronopharmacology is largely influenced by an individual's circadian rhythm which refers to periodic changes in biological processes depending on the time of the day. The chronopharmacology influences clinical practice, and the accumulating knowledge in this field will likely lead healthcare providers to adopt new strategies for drug treatment regimens. Chronopharmacology is a branch of pharmacology that studies how the timing of drug administration affects the body's response to medication. It emphasizes the role of biological rhythms, such as the circadian rhythm, in influencing drug effectiveness and safety. The studies on chronopharmacology are divided into two main areas: chronopharmacokinetics and chronopharmacodynamics.

Chronopharmacokinetics investigates how the timing of drug intake impacts the processes of ADME of the drugs. Chronopharmacodynamics examines the change in the effects of drugs on cellular and tissue levels, depending on the administration time of the drug. Both of these disciplines form the core of chronopharmacology and are the main themes in the aspects of chronopharmacology. They are essential for guiding the optimal timing of drug treatment to enhance benefits and reduce adverse effects. The drugs used in oncology are considered highly effective due to their antineoplastic effect but they also exhibit a broad range of severe adverse effects. The adverse effect profiles of antineoplastic agents are an important topic of discussion, particularly in the context of chronopharmacology. The timing of drug administration has been shown to potentially influence both the efficacy and the side effects of these agents. By aligning the administration of antineoplastic drugs with the body's circadian rhythms, it may be possible to enhance their therapeutic effects while minimizing adverse reactions. Ongoing research is focused on identifying the optimal timing for these treatments, with the aim of improving patient outcomes and reducing the burden of side effects. In the course of the study, the authors state that chronopharmacology represents a significant step forward in the quest to optimize drug therapies. By integrating the principles of this discipline into clinical practice, healthcare providers

can enhance the effectiveness of treatments, reduce adverse effects, and move closer to the goals of personalized medicine. Ongoing research and clinical trials will continue to refine these strategies, ultimately leading to more precise and effective treatment protocols across a wide range of medical fields [14].

Summarizing the above data, it can be concluded that CP in oncology is currently a key area of modern medicine, combining fundamental understanding of the mechanisms of action of anticancer agents with the principles of individualized therapy. The development of molecular technologies, PGs, and biomarkers has significantly improved the accuracy of drug selection and dosage, minimized toxicity, and improved patient prognosis.

Despite significant advances, issues of drug resistance, interindividual variability in PKs and PDs, and the need to optimize drug combinations remain pressing. Addressing these challenges requires further integration of CP with oncogenomics, bioinformatics, and clinical trials.

Thus, understanding the fundamentals of CP in oncology forms the basis for the rational use of anticancer drugs, facilitates the development of a personalized approach, and serves as the foundation for improving malignant tumor therapy in the future. The development of predictive models of therapy efficacy and toxicity will enable the implementation of a truly personalized approach, in which the choice of drug, dose, and treatment regimen is based on a combination of pharmacological, genetic, and clinical factors.

CP in oncology occupies a central place in modern anticancer treatment, providing a scientific basis for the selection, dosing, and combination of medications. Understanding the mechanisms of action of cytostatic, targeted, and immunomodulatory agents, as well as their PKs and PDs, not only improves therapy effectiveness but also significantly reduces the incidence and severity of toxic complications, which remain a leading problem in oncology practice.

In recent decades, there has been a shift from empirical chemotherapy selection to personalized medicine based on the analysis of the molecular and genetic characteristics of the tumor and the individual patient's metabolic characteristics. PGs and therapeutic drug monitoring are becoming integral elements of CP, opening up opportunities for precise dosing and predicting treatment response. The introduction of biomarkers into clinical practice facilitates patient stratification and the selection of optimal treatment regimens, which is particularly important when using targeted and immunotherapeutic agents.

Thus, CP serves as the scientific foundation for rational anticancer therapy. Its further development determines not only the increased effectiveness and safety of malignant tumor treatments but also the emergence of a new paradigm of oncological care – precise, individualized, and pathogenetically sound.

## LITERATURE

1 Kruse M, Stankeviciute S, Perry S. Clinical pharmacology-how it shapes the drug development journey. *Eur J Clin Pharmacol*. 2025 Apr;81(4):597-604. doi: 10.1007/s00228-025-03811-z.

2 Papachristos A, Patel J, Vasileiou M, Patrinos GP. Dose Optimization in Oncology Drug Development: The Emerging Role of Pharmacogenomics, Pharmacokinetics, and Pharmacodynamics. *Cancers (Basel)*. 2023 Jun 18;15(12):3233. doi: 10.3390/cancers15123233.

3 Malhi V, Agarwal P, Gates MR, Liu L, Wang J, De Bruyn T, Lam S, Eng-Wong J, Perez-Moreno P, Chen YC, Yu J. Optimizing Early-stage Clinical Pharmacology Evaluation to Accelerate Clinical Development of Giredestrant in Advanced Breast Cancer. *Cancer Res Commun*. 2023 Dec 15;3(12):2551-2559. doi: 10.1158/2767-9764.CRC-23-0324.

4 Lazarou G, Chelliah V, Small BG, Walker M, van der Graaf PH, Kierzek AM. Integration of Omics Data Sources to Inform Mechanistic Modeling of Immune-Oncology Therapies: A Tutorial



for Clinical Pharmacologists. *Clin Pharmacol Ther.* 2020 Apr;107(4):858-870. doi: 10.1002/cpt.1786.

5 Ramasubbu MK, Paleja B, Srinivasann A, Maiti R, Kumar R. Applying quantitative and systems pharmacology to drug development and beyond: An introduction to clinical pharmacologists. *Indian J Pharmacol.* 2024 Jul 1;56(4):268-276. doi: 10.4103/ijp.ijp\_644\_23.

6 Bai JPF, Earp JC, Strauss DG, Zhu H. A Perspective on Quantitative Systems Pharmacology Applications to Clinical Drug Development. *CPT Pharmacometrics Syst Pharmacol.* 2020 Dec;9(12):675-677. doi: 10.1002/psp4.12567.

7 Bai JPF, Earp JC, Florian J, Madabushi R, Strauss DG, Wang Y, Zhu H. Quantitative systems pharmacology: Landscape analysis of regulatory submissions to the US Food and Drug Administration. *CPT Pharmacometrics Syst Pharmacol.* 2021 Dec;10(12):1479-1484. doi: 10.1002/psp4.12709.

8 Chelliah V, Lazarou G, Bhatnagar S, Gibbs JP, Nijssen M, Ray A, Stoll B, Thompson RA, Gulati A, Soukharev S, Yamada A, Weddell J, Sayama H, Oishi M, Wittemer-Rump S, Patel C, Niederalt C, Burghaus R, Scheerans C, Lippert J, Kabilan S, Kareva I, Belousova N, Rolfe A, Zutshi A, Chenel M, Venezia F, Fouliard S, Oberwittler H, Scholer-Dahirel A, Lelievre H, Bottino D, Collins SC, Nguyen HQ, Wang H, Yoneyama T, Zhu AZX, van der Graaf PH, Kierzek AM. Quantitative Systems Pharmacology Approaches for Immuno-Oncology: Adding Virtual Patients to the Development Paradigm. *Clin Pharmacol Ther.* 2021 Mar;109(3):605-618. doi: 10.1002/cpt.1987.

9 Liu SN, Li C. Clinical pharmacology strategies in supporting drug development and approval of antibody-drug conjugates in oncology. *Cancer Chemother Pharmacol.* 2021 Jun;87(6):743-765. doi: 10.1007/s00280-021-04250-0.

10 Huang W, Li J, Liao MZ, Liu SN, Yu J, Jing J, Kotani N, Kamen L, Guelman S, Miles DR. Clinical Pharmacology Perspectives for Adoptive Cell Therapies in Oncology. *Clin Pharmacol Ther.* 2022 Nov;112(5):968-981. doi: 10.1002/cpt.2509.

11 Kast J, Nozohouri S, Zhou D, Yago MR, Chen PW, Ahamadi M, Dutta S, Upreti VV. Recent advances and clinical pharmacology aspects of Chimeric Antigen Receptor (CAR) T-cellular therapy development. *Clin Transl Sci.* 2022 Sep;15(9):2057-2074. doi: 10.1111/cts.13349.

12 Mohamed MR, Kyi K, Mohile SG, Xu H, Culakova E, Loh KP, Flannery M, Obrecht S, Ramsdale E, Patil A, Dunne RF, DiGiovanni G, Hezel A, Burnette B, Desai N, Giguere J, Magnuson A. Prevalence of and factors associated with treatment modification at first cycle in older adults with advanced cancer receiving palliative treatment. *J Geriatr Oncol.* 2021 Nov;12(8):1208-1213. doi: 10.1016/j.jgo.2021.06.007.

13 Shebley M, Menon RM, Gibbs JP, Dave N, Kim SY, Marroum PJ. Accelerating Drug Development in Pediatric Oncology With the Clinical Pharmacology Storehouse. *J Clin Pharmacol.* 2019 May;59(5):625-637. doi: 10.1002/jcph.1359.

14 Kaşkal M, Sevim M, Ülker G, Keleş C, Bebitoğlu BT. The clinical impact of chronopharmacology on current medicine. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol.* 2025 Jun;398(6):6179-6191. doi: 10.1007/s00210-025-03788-7.

# A Multimodal Approach to Alzheimer's Disease Classification Using Clinical and MRI Data

**Banu Mammadova**

Azerbaijan State University of Economics, Azerbaijan

**Hakan Kutucu**

Department of Software Engineering, Karabuk University, Türkiye

## Abstract

Alzheimer's disease (AD) is one of the significant health issues globally, as its neurodegenerative progression and challenges in early diagnosis create serious difficulties for clinical management. In recent years, artificial intelligence, particularly deep learning methods, has demonstrated strong performance in automated disease classification using medical imaging and clinical data. However, many existing models operate as black-box systems, limiting their transparency and clinical applicability.

In this study, an explainable multimodal AI approach is proposed for Alzheimer's disease classification by combining deep learning and machine learning techniques. A convolutional neural network based on ResNet is used to extract spatial features from MRI images, while a machine learning model based on XGBoost is applied to structured clinical and biomarker data. To improve interpretability, explainability methods including SHAP and Grad-CAM are employed to identify key contributing features and relevant brain regions influencing model predictions. The models are evaluated using standard classification metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. The results indicate that the proposed approach achieves strong classification performance while providing clinically meaningful explanations. These findings highlight the importance of combining predictive accuracy with interpretability, supporting the development of reliable AI-based diagnostic systems for Alzheimer's disease.

**Keywords:** Alzheimer's disease, Explainable AI, XGBoost, ResNet, SHAP, Grad-CAM, Multimodal learning

## Introduction

Alzheimer disease (AD) is a progressive neurodegenerative disorder, which is associated with cognitive impairment, memory disorders, and functional impact that is found to have significant affect on aging population of the world at large. As life expectancy increases, the rate of AD continues to increase, subjecting health care systems and care structures to a lot of pressure. [1] Early and precise diagnostic processes are necessary to delay the advancement of the disease and enhance patient outcomes, though the conventional diagnostic tools can use clinical examination and subjective analyses that can limit the possibility of discerning the initial abnormalities.

The development of neuroimaging devices including magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography (PET) has made it possible to identically detect the structural and functional alterations of the brain during AD. Meanwhile, the adoption of artificial intelligence (AI), especially deep learning algorithms, has brought new prospects of automated classifications and predictions of diseases. These models can identify complex patterns on high-dimensional data and can outperform the standard statistical methods in a number of situations.



Most AI-based models are opaque systems (they do not give much insight into their prediction generation) yet are highly performing. [2] This uninterpretability is the most significant obstacle to the clinical implementation, as medical workers need clear and understandable decision-support systems. In this respect, explainable artificial intelligence (XAI) has become a very promising direction, which tries to fill the gap between model performance and interpretability.

This paper is devoted to the creation of a model of the multimodal AI that combats the disease of Alzheimer and that is clear and easily understandable. The proposed solution will improve the accuracy of diagnostics and clinical trust by integrating neuroimaging information with clinical presentation and using explanatory mechanisms, which would help to build reliable and practical healthcare solutions.

Moreover, the pathology of Alzheimer's disease is complex and thus needs analytical frameworks that can process heterogeneous and high-dimensional data. The single-modality methods can be inadequate to record the multifactorial decisions associated with the disease, whose structural, functional, and biochemical changes can be dynamically interacting. The integration of multimodal data has thus become a very important factor to enhance diagnoses and allow models to take advantage of related information using different sources.

The other factor that should be taken into consideration is the clinical applicability of AI systems. In addition to predictive performance, the models should provide medical knowledge harmonized reasoning that aids the physicians in their judgment. Explainability tools, e.g. feature attribution algorithms, saliency maps, provide a way of identifying the appropriate brain activation or clinical variables that lead to model predictions. This does not only result in validation of model behavior but also gives user trust to automated systems.

The recent trends in interpretable machine learning focus on the complexity of the model and its transparency balance. Instead of the previous trend of simplification that compromises accuracy in models, the current trends are trying to incorporate interpretability in the high-performing architectures. [3] This paradigm shift, in turn, enables it to develop systems that are analytically powerful and, at the same time, clinically meaningful. The current work, in this sense, bridges the gap between multimodal learning and explainable AI, and strives to build a model that should be technically efficient but also correspond to the real-life needs of medical setting decision-making procedures.

Despite the strong performance of deep learning models in medical imaging tasks, their black-box nature limits their adoption in clinical practice where interpretability is essential. At the same time, traditional machine learning models, while more transparent, may not fully capture complex spatial patterns present in neuroimaging data.

Recent studies have demonstrated the effectiveness of deep learning and multimodal approaches for Alzheimer's disease detection and classification [10–14].

To address this limitation, this study adopts a hybrid multimodal approach that combines a deep learning model based on ResNet and a machine learning model based on XGBoost. By integrating explainability techniques such as SHAP and Grad-CAM, the proposed approach aims to achieve both high predictive performance and clinically interpretable results.

## Literature Review

Alzheimer's disease (AD) is a progressive neurodegenerative disorder and the leading cause of dementia worldwide, making early and accurate diagnosis a critical clinical challenge. The black-box nature of most AI models has limited their clinical adoption, driving the emergence of Explainable AI (XAI) as a key research direction [13, 14].

Anzum et al. [1] combined transformer architectures with computer vision algorithms and integrated LIME to interpret model decisions, achieving 99% accuracy in categorizing AD stages through the joint analysis of RNA text data and brain MRI images.

Sheikh et al. [2] developed lightweight deep learning models for early AD detection from 2D MRI slices, with their best-performing model achieving 92% overall accuracy. Grad-CAM++ visualizations confirmed that the model focused on hippocampal and medial temporal structures aligned with known AD pathophysiology.

Zhang et al. [3] proposed an explainable patch-based deep learning network for AD diagnosis using structural MRI, demonstrating that localized patch-level analysis can improve both accuracy and spatial interpretability of predictions.

The DeepALZNET framework [9] introduced a dual-pathway approach combining structured clinical data analysis with MRI-based classification, enabling flexible AD prediction from either data modality independently.

Mostafa et al. [8] developed a deep learning framework incorporating Grad-CAM for visual explanation, achieving 99.21% accuracy for AD versus MCI classification while providing attribution maps highlighting critical regions in gray and white matter.

Can et al. [4] proposed a retrieval-based explainable multimodal framework for neurodegenerative diagnosis, demonstrating that combining multimodal evidence with interpretable modeling enables robust diagnostic reasoning. Lincoln and Maswood [5] introduced an explainable attention-based network for Alzheimer's progression detection, utilizing attention mechanisms to highlight disease-relevant spatial patterns.

A comprehensive review of XAI in AD neuroimaging [2] confirmed that SHAP, LIME, Grad-CAM, and Layer-wise Relevance Propagation are the most widely applied techniques, enabling clinicians to understand how models prioritize disease-relevant features such as hippocampal atrophy.

The present study builds on this body of work by implementing a dual-model XAI framework: a clinical feature-based model using XGBoost with SHAP on ADNI data [7], and an MRI image-based model using ResNet18 with Grad-CAM [6], providing both feature-level and spatial visual explanations for transparent three-class AD classification across CN, MCI, and AD categories.

## Methodology

### 1. Study Design and Conceptual Framework

The design of an Alzheimer's disease classification system requires a structured framework that integrates both theoretical and computational components. Given the complexity of neurodegenerative processes, it is essential to establish a model that captures relationships between clinical indicators and imaging data. [4] A well-defined conceptual framework ensures that the analytical process remains consistent with the objectives of medical diagnosis and decision support.

In this study, a multimodal and explainability-oriented approach is adopted, where predictive performance and interpretability are treated as equally important. The framework is designed to reflect real-world clinical conditions by handling heterogeneous data while maintaining transparency and robustness. [5] This design also supports the integration of diverse data modalities, enabling the system to better capture complex patterns associated with disease progression.

2. Data Acquisition and Dataset Description

Reliable data acquisition is a fundamental requirement for machine learning-based diagnostic systems. The quality, diversity, and representativeness of the dataset directly influence the model’s ability to generalize across patient populations.

The dataset used in this study consists of two complementary data sources. For image-based analysis, MRI data was obtained from a publicly available Kaggle dataset [6] containing labeled brain images for Alzheimer’s disease classification. For feature-based analysis, structured clinical data were derived from sources inspired by the Alzheimer’s Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) [7], including cognitive scores (MMSE, CDR, FAQ) and demographic variables. This multimodal setup enables the integration of deep learning and machine learning techniques within a unified framework.

The distribution and statistical characteristics of the clinical dataset used for the machine learning model are illustrated in Figure 1.

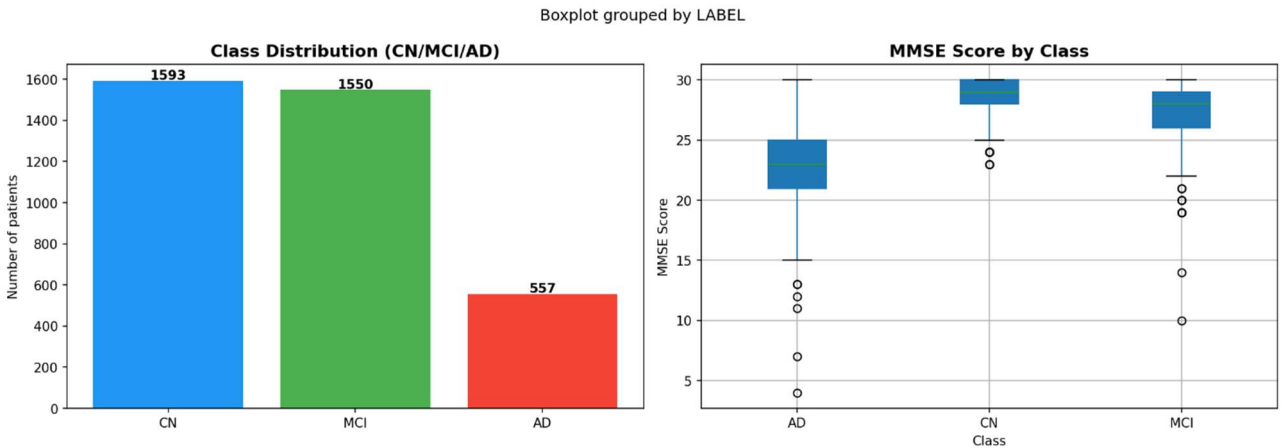


Figure 1. Distribution of dataset classes (CN, MCI, AD) and MMSE score variations across groups.

However, it should be noted that the MRI dataset obtained from Kaggle is not derived from a standardized clinical data collection process. Therefore, it may not fully reflect real-world clinical conditions, which could limit the generalizability of the deep learning model. Despite this limitation, the dataset provides sufficient variability for developing and evaluating the proposed approach.

3. Data Preprocessing and Feature Engineering

Before model development, the data undergoes preprocessing to ensure consistency and reduce noise. Variability in medical data acquisition can introduce distortions, making preprocessing essential for extracting meaningful patterns. [8]

The preprocessing stage included data cleaning, normalization, and transformation. Missing values in clinical data were handled, and numerical features were scaled where necessary. MRI images were resized and normalized prior to being used as input to the deep learning model. The dataset was then split into training and test sets to ensure reliable evaluation and reproducibility of results. To provide a visual understanding of the input data, sample MRI images from the dataset are presented in Figure 2. These examples illustrate the structural differences between Alzheimer’s Disease (AD), Mild Cognitive Impairment (MCI), and Cognitively Normal (CN) classes.

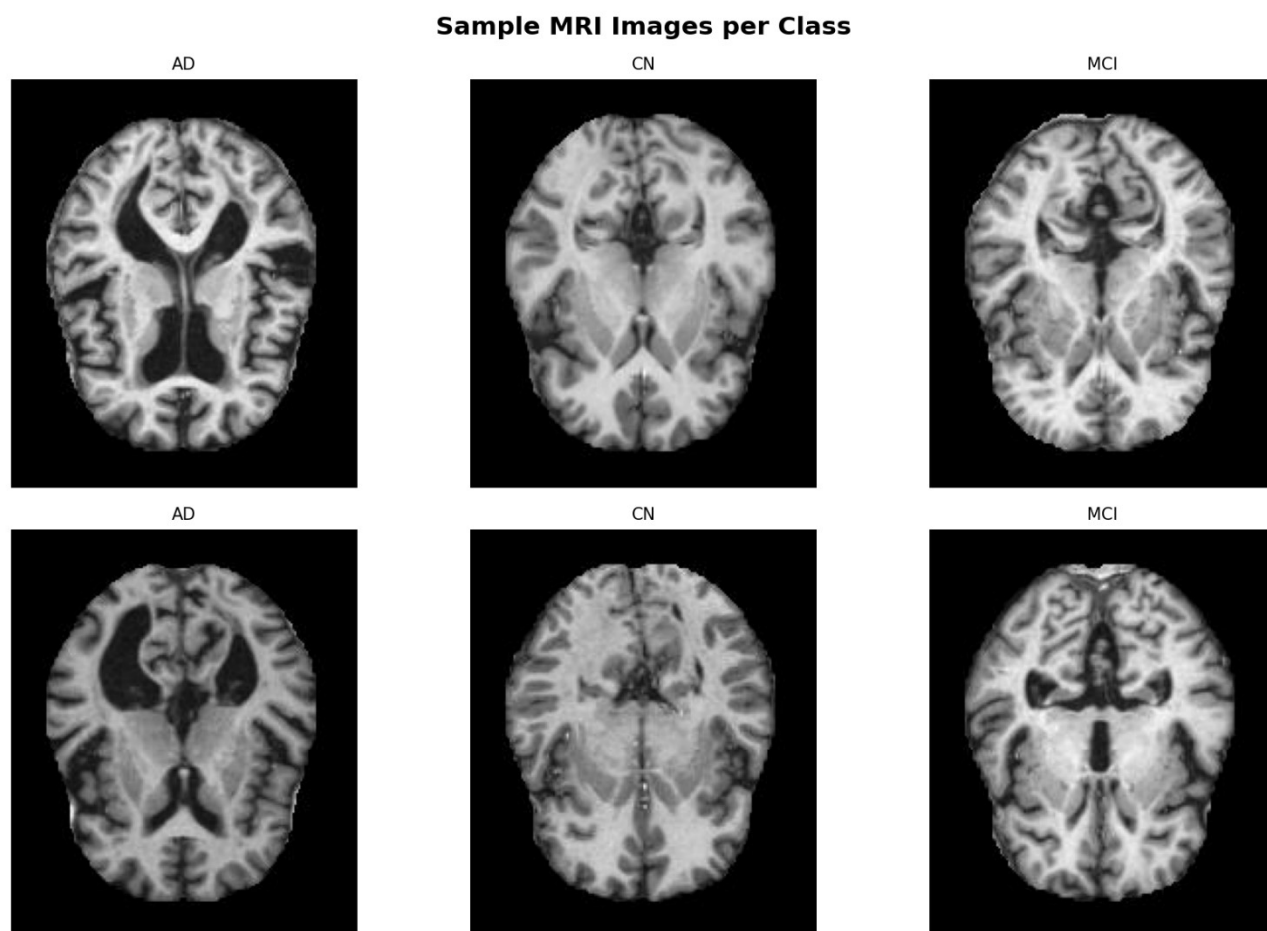


*Figure 2. Sample MRI images from the Kaggle dataset representing Alzheimer's Disease (AD), Mild Cognitive Impairment (MCI), and Cognitively Normal (CN) classes.*

Feature engineering further enhances the dataset by transforming raw inputs into meaningful representations, improving both model performance and interpretability by emphasizing clinically relevant attributes. This step also facilitates more stable learning and better alignment between input features and prediction outcomes.

#### **4. Model Implementation**

Two complementary modeling approaches were implemented for Alzheimer's disease classification.

The primary approach is based on structured clinical data. A machine learning model using XGBoost was applied to classify patients based on cognitive and demographic features. This model was selected due to its strong performance on tabular data and its ability to capture complex feature interactions efficiently, making it suitable for clinical decision support scenarios.

The secondary approach utilizes MRI image data. A deep learning model based on the ResNet architecture was used to extract spatial features from brain images. ResNet was chosen due to its effectiveness in handling image-based classification tasks and its ability to learn hierarchical representations of brain structures associated with neurodegenerative changes.

The training process of the ResNet model is illustrated in Figure 3. The training and validation loss decrease steadily over epochs, while the accuracy curves show a consistent improvement, indicating effective learning and stable convergence behavior without significant overfitting.

This hybrid modeling strategy allows the system to leverage both interpretable feature-based analysis and powerful image-based pattern recognition, providing a more comprehensive understanding of Alzheimer's disease.

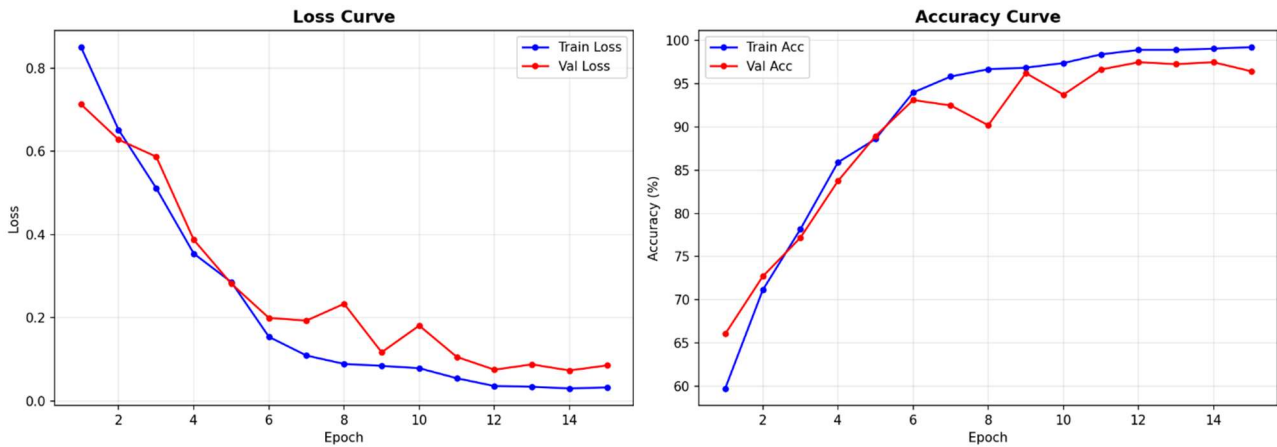


Figure 3. Training and validation loss and accuracy curves of the ResNet model over training epochs.

5. Explainability and Interpretation

Interpretability is a critical requirement in medical AI systems, as clinicians require not only accurate predictions but also understandable reasoning behind them. [9]

To address this, explainability techniques were integrated into both models. SHAP was applied to the XGBoost model to quantify the contribution of each feature to prediction outcomes, enabling feature-level interpretation and identification of key clinical indicators. Grad-CAM was used with the ResNet model to visualize important regions in MRI images that influence classification decisions.

These techniques enhance model transparency and support the practical adoption of AI systems in clinical environments by providing both numerical and visual explanations of model behavior.

6. Model Evaluation and Validation

Model performance was evaluated using multiple metrics to ensure a comprehensive assessment. Accuracy, precision, recall, and F1-score were used to measure classification effectiveness across different classes and disease stages.

Validation strategies were applied to assess the generalization capability of the models and to reduce the risk of overfitting. This ensures that the proposed system maintains stable performance across different data subsets and real-world scenarios. Such evaluation provides a reliable basis for assessing the applicability of the models in clinical decision-making contexts.

Results

1. Clinical Data Results (ADNI-based dataset)

The performance of the proposed model was evaluated on the test dataset using standard classification metrics. The primary model based on XGBoost demonstrated strong performance in Alzheimer’s disease classification.

The model achieved the following results:

Table 1. Performance metrics of the XGBoost model

| Metric    | Value  |
|-----------|--------|
| Accuracy  | 92.70% |
| Precision | 0.9282 |
| Recall    | 0.9270 |
| F1-score  | 0.9272 |
| AUC-ROC   | 0.9788 |

The results indicate that the model is capable of effectively distinguishing between different stages of Alzheimer’s disease, including cognitively normal (CN), mild cognitive impairment (MCI), and Alzheimer’s disease (AD).

The classification performance of the model is illustrated in Figure 4. The confusion matrix shows that the majority of samples are correctly classified, with only a small number of misclassifications between neighboring classes.

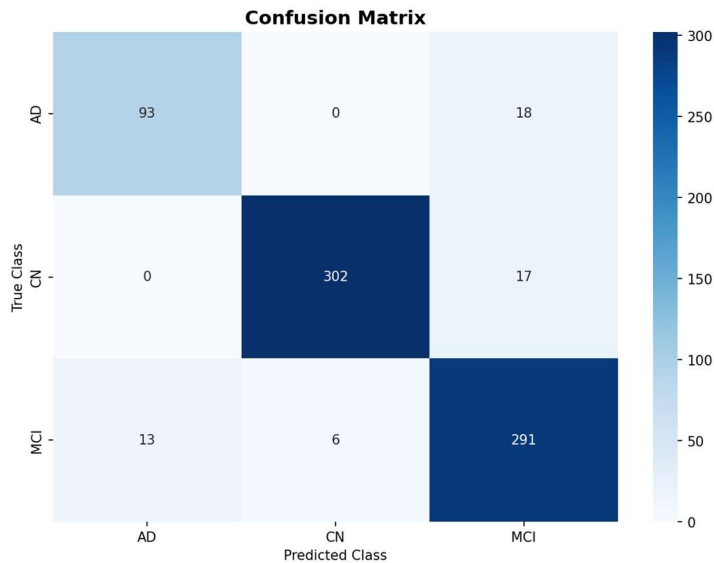


Figure 4. Confusion matrix of the XGBoost model for AD, CN, and MCI classification. The ROC curves in Figure 5 demonstrate strong discriminative performance across all classes. The high AUC values indicate that the model can effectively separate different classes.

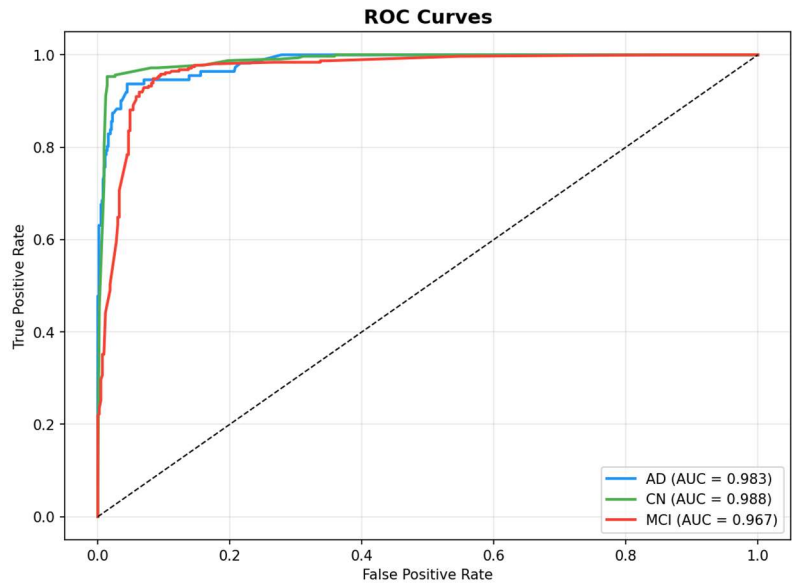


Figure 5. ROC curves with AUC scores for each class using the XGBoost model. To enhance interpretability, SHAP (SHapley Additive exPlanations) analysis was applied to evaluate feature importance. The results show that several clinical variables have a significant impact on the model's predictions.

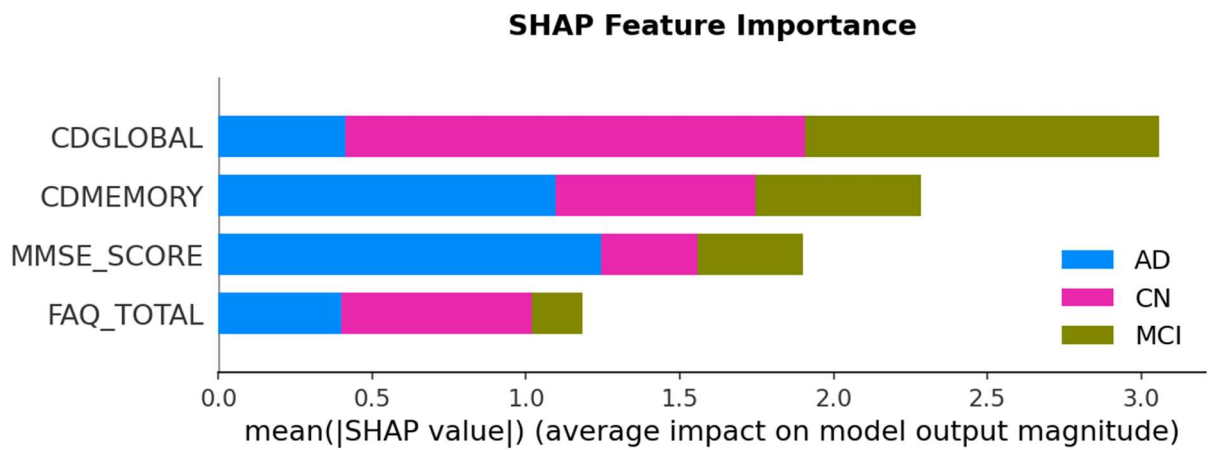


Figure 6. SHAP feature importance showing the contribution of clinical variables to model predictions.

An example of individual prediction explanation is shown in Figure 7. This visualization illustrates how different features contribute positively or negatively to the final prediction for a specific patient.

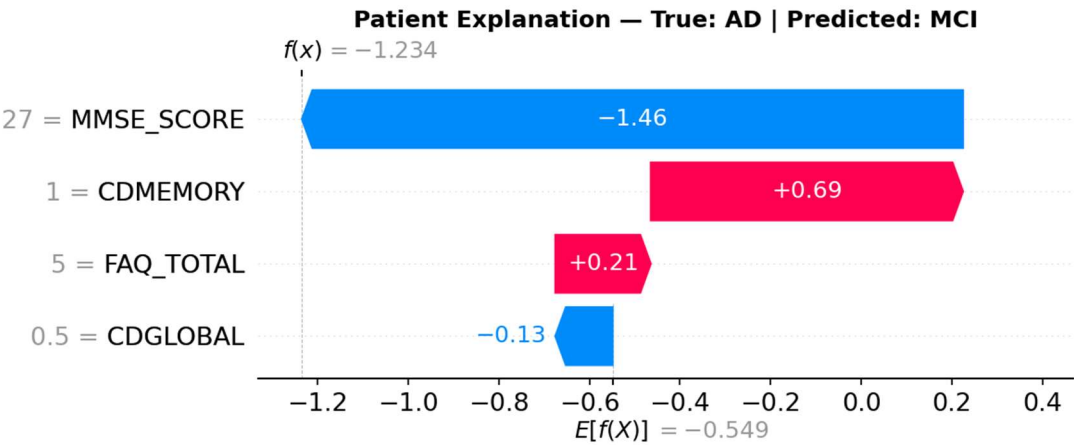


Figure 7. Example SHAP explanation for an individual patient.

The SHAP analysis provides insight into how individual features influence the model's predictions. In particular, lower MMSE scores are associated with a higher probability of Alzheimer's disease, reflecting cognitive decline. Similarly, higher CDR values contribute positively to Alzheimer's classification, indicating increased severity of cognitive impairment. Age also shows a positive contribution, where older patients are more likely to be classified as AD. On the other hand, higher MMSE scores and lower CDR values are associated with cognitively normal (CN) classifications, while intermediate values are often linked to mild cognitive impairment (MCI). These findings are consistent with clinical understanding of Alzheimer's disease progression.

## 2. MRI Data Results (Kaggle dataset)

In addition to the feature-based approach, a deep learning model based on ResNet was applied to MRI image data. The model demonstrated strong performance in classifying Alzheimer's disease stages.



The model achieved the following performance metrics:

Table 2. Performance metrics of the ResNet model

| Metric    | Value  |
|-----------|--------|
| Accuracy  | 96.15% |
| Precision | 0.9614 |
| Recall    | 0.9615 |
| F1-score  | 0.9614 |
| AUC-ROC   | 0.9965 |

The classification results are illustrated by the confusion matrix in Figure 8. The matrix shows that the majority of samples are correctly classified, indicating high accuracy of the model.

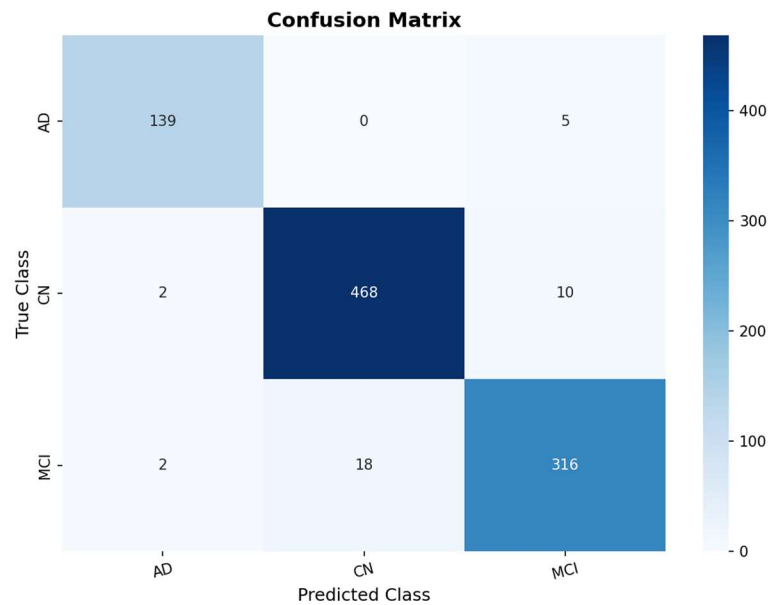


Figure 8. Confusion matrix of the ResNet model for AD, CN, and MCI classification.

The ROC curves shown in Figure 9 further confirm the strong discriminative capability of the model. The high AUC values indicate that the model effectively distinguishes between different classes.

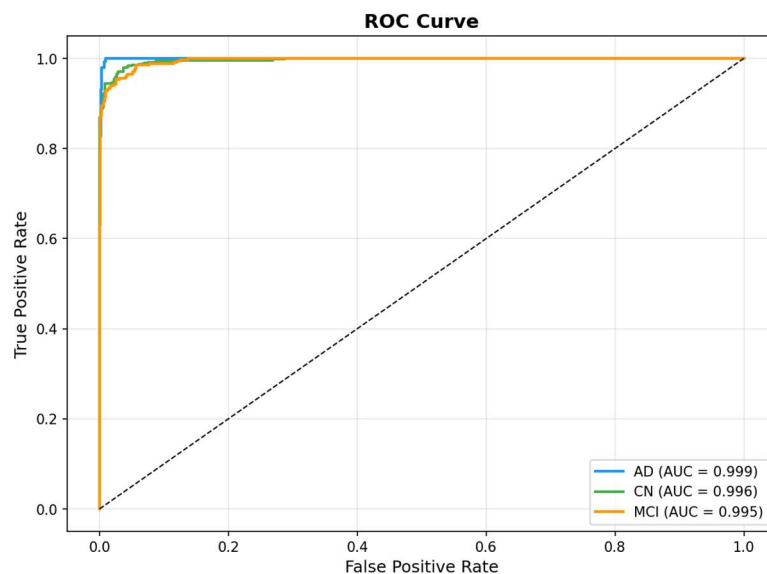


Figure 9. ROC curves with AUC scores for each class using the ResNet model.

To provide interpretability, Grad-CAM visualization was applied, highlighting the most relevant brain regions contributing to the predictions. As shown in Figure 10, the model focuses on meaningful areas of the brain associated with Alzheimer’s disease.

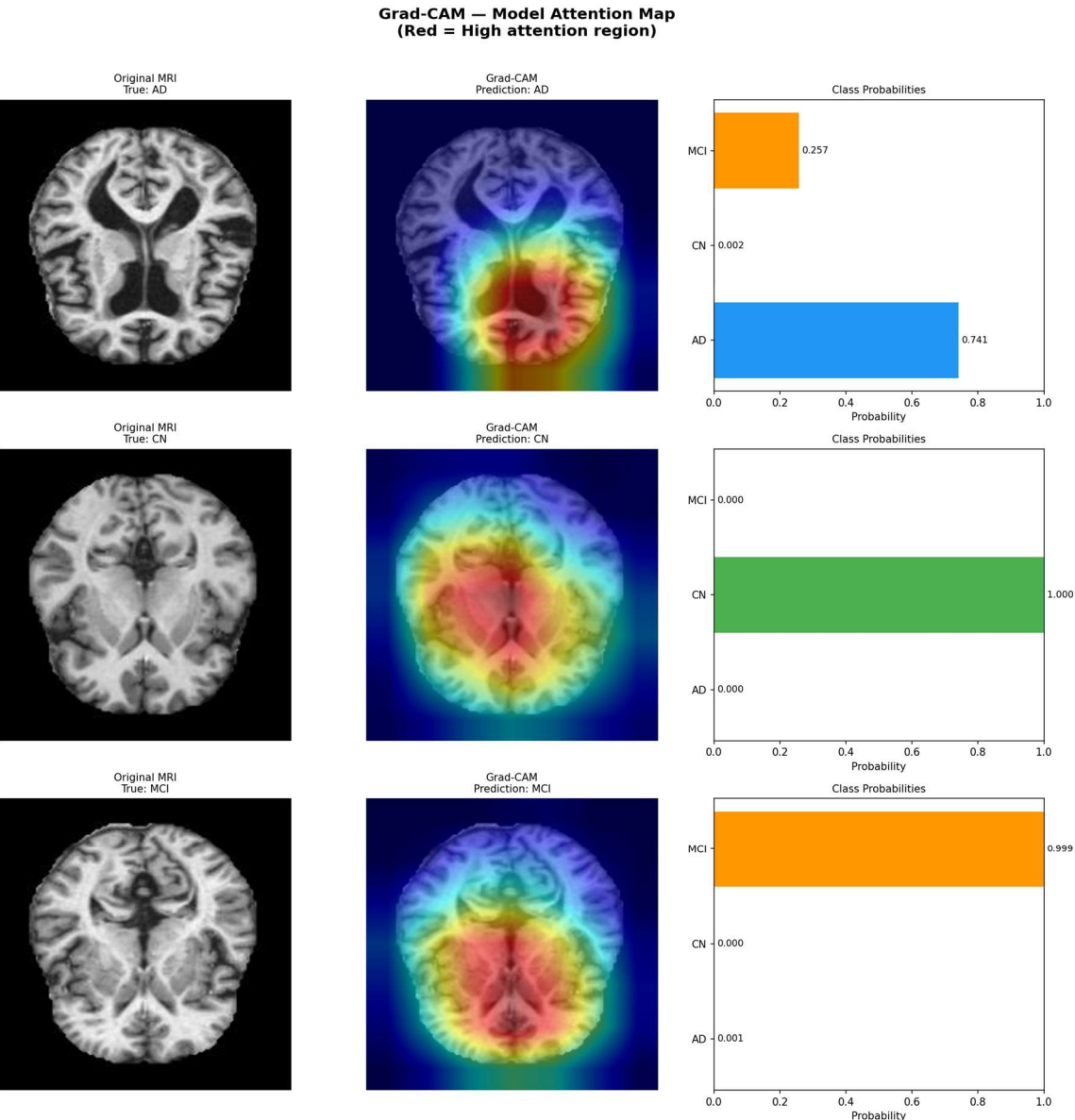


Figure 10. Grad-CAM visualization highlighting important brain regions influencing predictions.

The Grad-CAM visualization highlights the regions that the model attends to when generating predictions. Although these visualizations do not directly confirm the presence of Alzheimer’s disease, they provide valuable insight into the internal decision-making process of the model. The highlighted regions appear to be consistent with brain areas commonly associated with Alzheimer’s-related neurodegeneration, suggesting that the model is capturing clinically relevant structural patterns from the MRI data.

### Discussion

The findings of this study demonstrate that both machine learning and deep learning approaches can effectively support Alzheimer’s disease classification when applied to appropriate data types. The XGBoost model showed strong and stable performance on structured clinical data, while also providing clear interpretability through SHAP analysis. This enables the identification of key clinical features, such as cognitive scores and demographic variables, that significantly influence prediction outcomes.

In contrast, the ResNet-based deep learning model achieved high performance in MRI image classification, highlighting its ability to automatically extract complex spatial patterns associated with neurodegenerative changes. The high AUC values further indicate strong discriminative capability across different disease stages. However, despite its strong predictive performance, the deep learning model remains less transparent compared to the feature-based approach.

It is important to note that the two models were trained on different types of data, including structured clinical data and MRI images obtained from different sources. Therefore, their performance should be interpreted within their respective data domains, and direct comparison between the models may not be fully appropriate. The use of explainability techniques plays a critical role in addressing this challenge. SHAP provides feature-level interpretability for clinical data, while Grad-CAM enables visualization of relevant brain regions in MRI images. Together, these methods enhance trust in the models and support their potential use in clinical decision-making.

Overall, the results suggest that combining multiple data modalities and modeling approaches can provide a more comprehensive and reliable framework for Alzheimer's disease classification. This highlights the importance of integrating both predictive performance and interpretability in the development of AI-based healthcare solutions. These findings highlight the potential of multimodal and explainable AI approaches in supporting real-world clinical decision-making.

### Conclusion

The present study proposes a multimodal and explainable artificial intelligence framework for Alzheimer's disease classification, aiming to balance predictive performance with clinical interpretability. By integrating clinical data and MRI imaging, the proposed approach is capable of capturing complex and complementary patterns associated with disease progression, which are often difficult to identify using single-modality systems. This multimodal perspective enables a more comprehensive understanding of the differences between cognitively normal individuals, patients with mild cognitive impairment, and those with Alzheimer's disease.

One of the key contributions of this work is the integration of explainability techniques directly into the modeling pipeline. The use of SHAP allows for the identification of the most influential clinical variables, while Grad-CAM provides visual insights into the brain regions that contribute to model predictions. These techniques improve transparency and make the results more accessible and meaningful for clinical interpretation, which is essential for the adoption of AI-based systems in healthcare environments.

The experimental results demonstrate that both machine learning and deep learning approaches achieve strong classification performance within their respective data domains. The XGBoost model performs effectively on structured clinical data, while the ResNet model shows high accuracy in MRI-based classification. However, since the models are trained on different data types, their performance should be interpreted independently rather than directly compared.

Despite the promising results, several limitations should be acknowledged. The variability and quality of multimodal data, particularly the use of publicly available MRI datasets, may affect the generalizability of the proposed approach. Additionally, although explainability methods provide valuable insights, their interpretations may still require validation by domain experts to avoid potential misinterpretations.

Future research may focus on expanding the multimodal framework by incorporating additional data sources such as genetic information and longitudinal patient records. Further improvements in explainability techniques could also enhance the clarity and reliability of model interpretations. Overall, the findings of this study highlight the importance of combining multimodal learning with explainable AI to develop reliable and clinically meaningful diagnostic systems for Alzheimer's disease.

## References

1. Anzum, H., Sammo, N. S., & Akhter, S. (2025). Leveraging transformers and explainable AI for Alzheimer's disease interpretability. PLOS ONE, 20(5), e0322607. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322607>
2. Sheikh, F., Al Marouf, A., Rokne, J. G., & Alhajj, R. (2025). Lightweight deep learning models with explainable AI for early Alzheimer's detection from standard MRI scans. Diagnostics, 15(21), 2709. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15212709>
3. Zhang, X., Han, L., Han, L., Chen, H., Dancey, D., & Zhang, D. (2023). sMRI-PatchNet: An explainable patch-based deep learning network for Alzheimer's disease diagnosis. IEEE Access.
4. Can, D.-C., Tang, Q.-H., Ha, H., Nguyen, B. T., & Chén, O. Y. (2025). REMEMBER: Retrieval-based explainable multimodal modeling for neurodegenerative diagnosis. arXiv preprint arXiv:2504.09354.
5. Lincoln, S. I., & Maswood, M. M. S. (2025). XDementNET: Explainable attention-based deep convolutional network for Alzheimer progression detection. arXiv preprint arXiv:2505.13906.
6. Kaggle Alzheimer's MRI Dataset Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/psraju2024/alzheimers-dataset-4-class-of-images> (accessed: April 2026).
7. Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI). Available at: <https://adni.loni.usc.edu> (accessed: April 2026).
8. Mostafa, F., Hossain, K., & Khan, H. (2025). Deep learning approaches with explainable AI for differentiating Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. arXiv preprint arXiv:2510.00048.
9. DeepALZNET study group. (2025). Alzheimer disease prediction from clinical and MRI data using deep learning. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-28221-0>
10. Kumar, A., Singh, R., & Lee, S. (2025). Advanced MRI-based Alzheimer's diagnosis through ensemble learning techniques. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04899-0>
11. Rahman, M. M., Islam, M. R., & Hossain, M. S. (2025). Deep learning-based Alzheimer's disease detection using multimodal neuroimaging. PLOS ONE.
12. Alam, M., & Khan, S. (2025). Alzheimer's disease detection using deep learning and machine learning techniques: A comprehensive review. Artificial Intelligence Review. <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11258-y>
13. Ben Ahmed, O., & Saidi, R. (2024). Deep learning methods for early detection of Alzheimer's disease using MRI: A review. Neurocomputing, 550, 126–145.
14. Alsharif, N., & Alsubaie, N. (2025). Advancements in deep learning for early diagnosis of Alzheimer's disease using multimodal data. Frontiers in Neuroinformatics.

## Physical and Mathematical Sciences

# МЕКТЕП МАТЕМАТИКА КУРСЫНДА САНДАРДЫ ЖУЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕРДІҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНЫСТАРЫ

**Бөрібай Ғалымжан Сабитұлы**

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті 7M01547-  
Математика білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты

### Аңдатпа

Бұл мақалада мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбының практикалық маңызы қарастырылады. Жуықтап есептеу, дөңгелектеу, абсолют және салыстырмалы қателіктер ұғымдарының күнделікті өмірдегі, техникадағы, экономикадағы және жаратылыстану ғылымдарындағы қолданылуы талданады. Сонымен қатар оқушылардың функционалдық сауаттылығын қалыптастыруда жуықтау есептерінің рөлі айқындалып, практикалық мазмұндағы есептердің үлгілері ұсынылады.

Тірек сөздер: жуық мән, дөңгелектеу, абсолют қате, салыстырмалы қате, практикалық есептер, функционалдық сауаттылық.

### Кіріспе

Қазіргі білім беру жүйесінде математиканы оқытудың негізгі мақсаттарының бірі – оқушылардың алған білімдерін өмірлік жағдайларда қолдана алу дағдыларын қалыптастыру. Осы тұрғыдан алғанда мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбы ерекше маңызға ие. Сандарды жуықтау тақырыбы оқушылардың есептеу мәдениетін қалыптастырып, математикалық ойлау қабілетін дамытады. Сонымен қатар бұл тақырып арқылы оқушылар нақты нәтиже мен жуық нәтиженің айырмашылығын түсініп, есептеу барысында жіберілетін қателіктерді бағалауды үйренеді. Әсіресе абсолют және салыстырмалы қате ұғымдарын меңгеру тәжірибелік есептерді дұрыс орындауға мүмкіндік береді. Жуықтап есептеу тәсілдері ғылым мен техниканың көптеген салаларында кеңінен қолданылады. Физикада өлшеу нәтижелері жуық түрде беріледі, экономикада қаржылық көрсеткіштер дөңгелектенеді, ал техника саласында үлкен көлемдегі есептеулерді ықшамдау үшін жуық мәндер пайдаланылады. Осыған байланысты мектеп бағдарламасында бұл тақырыптың алатын орны ерекше.

Қазіргі жаңартылған білім беру мазмұнында оқушылардың математикалық сауаттылығын дамытуға бағытталған тапсырмаларға басымдық беріледі. Сол себепті сандарды жуықтауға арналған практикалық мазмұндағы есептерді жүйелі түрде қолдану оқушылардың логикалық ойлауын, талдау жасау қабілетін және өмірлік мәселелерді шешу дағдыларын дамытуда маңызды рөл атқарады. Осы мақалада мектеп математика курсындағы сандарды жуықтауға арналған есептердің практикалық қолданыстары қарастырылып, олардың оқушылардың функционалдық сауаттылығын қалыптастырудағы маңызы талданады.

### **Зерттеудің мақсаты**

Мектеп математика курсында сандарды жуықтауға арналған есептердің практикалық қолданыстарын анықтау, олардың оқушылардың математикалық сауаттылығы мен функционалдық білімін қалыптастырудағы рөлін ғылыми-әдістемелік тұрғыда негіздеу.

### **Зерттеудің міндеттері**

1. Мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбының теориялық негіздерін талдау;
2. Жуық мән, дөңгелектеу, абсолют және салыстырмалы қате ұғымдарының практикалық маңызын айқындау;
3. Сандарды жуықтауға арналған есептердің күнделікті өмірдегі, техникадағы, экономикадағы және жаратылыстану ғылымдарындағы қолданыстарын саралау;
4. Практикалық мазмұндағы есептер арқылы оқушылардың функционалдық сауаттылығын қалыптастыру жолдарын көрсету;
5. Мектеп тәжірибесінде қолдануға арналған жуықтап есептеу есептерінің үлгілерін ұсыну және олардың тиімділігін негіздеу.

### **Сандарды жуықтау ұғымының ғылыми-әдістемелік негіздері**

Санды жуықтау – нақты санды оған жақын әрі қолдануға ыңғайлы санмен алмастыру процесі.

Мектеп курсында бұл тақырып келесі ұғымдар арқылы қарастырылады:

- санды дөңгелектеу;
- жуық мән;
- абсолют қате;
- салыстырмалы қате;
- артық және кем жуықтау.

Мысалы,

$\pi$  санының мәні шексіз ондық бөлшек болғандықтан, есептеулерде көбіне:

$$\pi \approx 3,14$$

түрінде алынады.

$$\pi \approx 3.14$$

Бұл оқушыларға математикалық модельдеу мен практикалық есептеулердің ерекшеліктерін түсінуге мүмкіндік береді. Жуықтау барысында белгілі бір қателік пайда болады. Сондықтан мектеп математикасында абсолют және салыстырмалы қате ұғымдарын түсіндіру маңызды орын алады. Абсолют қате нақты мән мен жуық мәnnің айырмасын көрсетсе, салыстырмалы қате есептеудің дәлдік дәрежесін сипаттайды. Бұл ұғымдар оқушыларға есептеу нәтижелерін сыни тұрғыдан бағалауға үйретеді.

### **Сандарды жуықтаудың практикалық қолданыстары**

Сандарды жуықтау күнделікті өмірде, техникада, құрылыста, экономикада және жаратылыстану ғылымдарында кеңінен қолданылады. Практикалық есептер оқушылардың математикалық ойлау қабілетін және есептеу дағдыларын дамытады. Экономика және қаржы саласында пайыздық өсімдерді, инфляция деңгейін немесе бюджет шығындарын есептеу барысында жуық мәндер пайдаланылады. Мысалы, банктегі депозиттің өсімін есептеу кезінде алынған нәтижелер көбіне жүздік үлеске дейін дөңгелектенеді.

Физика және химия пәндеріндегі тәжірибелік жұмыстарда өлшеу нәтижелері нақты дәл болмайды. Сондықтан тәжірибе нәтижелері жуық мән түрінде жазылады. Бұл оқушыларға математиканың басқа ғылымдармен байланысын түсінуге мүмкіндік береді.

## 1. Күнделікті өмірде

Күнделікті тұрмыста адамдар көптеген шамаларды жуық түрде қолданады. Мысалы:

- дүкендегі тауар бағасын есептеу;
- уақытты шамамен анықтау;
- жол қашықтығын бағалау;
- ауа температурасының жуық мәндерін пайдалану.

Мысалы, супермаркетте бағасы 1987 теңге болатын тауарды сатып алушы оны шамамен 2000 теңге деп есептейді. Бұл – жуықтап есептеудің қарапайым мысалы.

## 2. Құрылыс және техника саласында

Инженерлік есептеулерде шамаларды белгілі бір дәлдікпен ғана алу жеткілікті болады.

Мысалы, құрылыс материалдарының көлемін анықтауда:

$$V=abc$$

формуласы қолданылады.

$$V=abc$$

Егер бөлменің ұзындығы 5,12 м, ені 3,86 м, биіктігі 2,74 м болса, есептеуді жеңілдету үшін мәндерді жуықтап алуға болады:

$$5,12 \approx 5 \quad 3,86 \approx 4 \quad 2,74 \approx 3$$

Сонда көлем шамамен:

$$V \approx 5 \cdot 4 \cdot 3 = 60 \text{ м}^3$$

болады.

## 3. Экономика және қаржы саласында

Экономикалық есептерде де жуық мәндер жиі қолданылады. Әсіресе пайыздық есептеулерде, инфляция деңгейін анықтауда және бюджет жоспарлауда жуықтау тәсілдері маңызды орын алады.

Мысалы, банк салымының өсімін есептеу кезінде күрделі пайыз формуласы пайдаланылады:

$$A = P(1 + r/100)^n$$

Бұл формула арқылы алынған нәтижелер көбіне жүздік үлеске дейін дөңгелектенеді.

## 4. Жаратылыстану ғылымдарында

Физика, химия және биология пәндерінде тәжірибелік өлшеулер нақты дәл болмайды.

Сондықтан нәтижелер жуық мән түрінде жазылады.

Мысалы, физикада дененің қозғалыс жылдамдығы:

$$v = \frac{s}{t}$$

формуласы арқылы есептеледі. Өлшеу құралдарының дәлдігіне байланысты нәтиже жуық түрде беріледі.

## Оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытудағы рөлі

Жуықтап есептеу есептері оқушылардың:

- математикалық сауаттылығын;
- практикалық ойлау қабілетін;
- есептеу дағдыларын;
- уақытты үнемдеп есептеу икемділігін;
- шынайы өмірлік жағдайларды модельдеу қабілетін дамытады.

Практикалық мазмұндағы есептерді сабақта қолдану оқушылардың пәнге қызығушылығын арттырады және математиканың өмірмен байланысын түсінуге мүмкіндік береді. Сабақ барысында жуықтап есептеу тапсырмаларын өмірлік жағдаяттармен байланыстыра беру оқушылардың танымдық белсенділігін арттырады. Мысалы, жол ұзындығын, азық-түлік бағасын, құрылыс материалдарының мөлшерін немесе уақытты жуықтап есептеу сияқты тапсырмалар оқушылардың практикалық ойлау қабілетін дамытады. Осылайша, мектеп



математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбы оқушылардың теориялық білімін тәжірибемен ұштастыратын маңызды бөлімдердің бірі болып табылады.

#### **Практикалық есептердің үлгілері**

1-есеп: Автокөлік 248 км жол жүруі керек. Жол ұзындығын жүздіктерге дейін жуықтап есептеңіз.

Шешуі:  $248 \text{ км} \approx 250 \text{ км}$ .

2-есеп: Диаметрі 6,2 м болатын дөңгелек алаңның ұзындығын табыңыз.

Шеңбер ұзындығының формуласы:  $C=2\pi r$

$$r=3,1\approx 3$$

$$C\approx 2\cdot 3,14\cdot 3\approx 18,84$$

Демек, шеңбер ұзындығы шамамен 19 м.

#### **Қорытынды**

Қазіргі білім беру жүйесінде математиканы оқытудың негізгі бағыттарының бірі – оқушылардың алған теориялық білімдерін күнделікті өмірде тиімді қолдана алу қабілетін қалыптастыру болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбы ерекше маңызды орын алады. Себебі нақты өмірде кездесетін көптеген есептеулер мен өлшеулер абсолют дәлдікпен орындала бермейді. Сондықтан жуық мәндерді пайдалану, сандарды дөңгелектеу және жуықтап есептеу тәсілдері практикалық қызметтің барлық салаларында кеңінен қолданылады. Зерттеу барысында мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбының тек теориялық білім берумен шектелмей, оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытуда маңызды рөл атқаратыны анықталды. Жуықтап есептеу есептері оқушыларды жылдам әрі тиімді ойлауға, есептеу барысында ұтымды тәсілдерді таңдауға және нақты жағдайларға математикалық талдау жасауға үйретеді. Қорыта айтқанда, мектеп математика курсындағы сандарды жуықтау тақырыбы оқушылардың теориялық білімін практикамен ұштастыратын маңызды бөлімдердің бірі болып табылады. Жуықтап есептеу тәсілдерін меңгеру оқушылардың математикалық мәдениетін қалыптастырып, олардың өмірлік жағдаяттарда дұрыс шешім қабылдауына негіз болады. Осы себепті математика сабақтарында практикалық бағыттағы жуықтау есептерін кеңінен қолдану қазіргі білім беру талаптарына сәйкес оқытудың тиімді жолдарының бірі болып саналады.

#### **Пайдаланылған әдебиеттер**

1. Әбілқасымова А.Е. Математиканы оқыту теориясы мен әдістемесі. – Алматы, 2018.
2. Ершов А.П. Математика және оны оқыту әдістемесі. – Москва, 2016.
3. Қазақстан Республикасы орта білім беру мазмұнын жаңарту бағдарламасы. – Астана, 2022.
4. Поляков В.В. Приближенные вычисления в школьном курсе математики. – Москва, 2015.

# TERMOELEKTRON EMİSSİYASINDA DOYMA CƏRƏYANININ Kvant – Mexaniki TƏSVİRİ

Cəfərova A.V.

Bakı Dövlət Universiteti

Orucov A.K.

Bakı Dövlət Universiteti

Дойма ыярайанынын нязари щесаблинамасына бахаг.Сцрятляри топлананлары  $v_x, v_x + dv_x, v_y, v_y + dv_y$  вя  $v_z, v_z + dv_z$  интервалларында олан электронларын концентрасийасыны  $dn_{x,y,z}$  иля ишаря едяк. Бу электронларын х оху бойунъа сятця дцщян сели

$$dv_{x,y,z} = v_x dn_{x,y,z} \quad (1)$$

олар. Айдындыр ки, металдан еля электронлар чыхаъаг ки, онлар цццн

$$mv_x^2/2 > W_p \quad (2)$$

шярти юдянилсин. Квант механикасына эюря енержиси потенциал чяпярй кечмяк цццн кифайят едян электронларын щеч дя щамысы металы тярк едя билмир. Буну нязря алмаг цццн электронларын енержисиндян асылы олан потенциал чяпярин шяффафлыг ямсалы адланан Д кямиййати дахил едирляр. Д-нин енержидян асылылыбы мялум олмадыындан онун орта гиймятини йазараг, (2) шярти юдянилдикдя металы тярк едян электрон сели цццн (1)-дян

$$v = \overline{D} \int v_x \cdot dn_{x,y,z} \quad (3)$$

аларыг. Ферми-Дирак статистикасына эюря

$$dn_{x,y,z} = \frac{2m^3}{h^3} \cdot \frac{dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2} - W_f} + 1} \quad (4)$$

олур. (4) ифадясини (3)-дя йериня йазараг ыярайан сыхлыбы цццн

$$j = ev = \overline{D} \frac{2em^3}{h^3} \int_{v_x = -\sqrt{\frac{2W_0}{m}}}^{v_x = +\infty} \int_{v_y = -\infty}^{v_y = +\infty} \int_{v_z = -\infty}^{v_z = +\infty} v_x \frac{dv_x dv_y dv_z}{e^{\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2} - W_f} + 1} \quad (5)$$

аларыг. (5)-дя интегралалты ифадядя ващиди експоненсиал щяддя нязрян атмаг олар. Металлар цццн  $\chi$  бир нечя еВ, кТ ися кифайят гядяр йцксяк температурлар цццн 0,1 – 0,2еВ тяртибиндя олдуындан експоненсиал һәдд вәһиддән сох-сөх бөүөк шярти щямишя юдянилиз. Она эюря бу и (5)-дя нязря алмагла

$$j = \overline{D} \frac{2em^3}{h^3} \left[ \int_{\sqrt{\frac{2W_0}{m}}}^{+\infty} v_x \cdot e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} \cdot dv_x \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{mv_y^2}{2kT}} \cdot dv_y \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} \cdot dv_z \right] \cdot e^{\frac{W_f}{kT}} \quad (6)$$

аларыг. (6)-да Пуассон интегралындан  $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$  [1] istifadə etməklə

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{mv_y^2}{2kT}} dv_y = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\left(\sqrt{\frac{m}{2kT}} v_y\right)^2} d\left(\sqrt{\frac{m}{2kT}} v_y\right) = \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} \quad (7)$$

аларыг. Айдыңдыр ки,  $v_z$  цэря интеграллама да (9) ифадясини веряр. (8) вя (7) ифадялярини (6)-дя йериня йазараг

$$j = \frac{4\pi me k^2}{h^3} \bar{D} \cdot T^2 e^{-\frac{W_a - W_f}{kT}} = A_0 \bar{D} T^2 e^{-\frac{\chi}{kT}} \quad (8)$$

аларыг. (8) ifadəsi Ричардсон дцстурү адланыр вя термоелектрон эмиссийасы дойма ъяряйанынын сыхлыыны ифадя едир.

$$A_0 = \frac{4\pi me k^2}{h^3} = 120 \cdot 10^4 \frac{\text{Amper}}{\text{m}^2 \text{ дяр}^2}$$

ишаря едилмишдир вя о Зоммерфелд сабити адланыр [2].

### Ədəbiyyat siyahısı

- 1.ЛандауЛ.Д.,Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Москва. 2004.с.800.
- 2.Калашников С.Г.Электричество.М.Физматлит.2024.с.624..

## Philological Sciences

УДК 82.0:008(574)(091)

# Ілияс Жансүгіровтің «Құлагер» поэмасындағы ұлттық дәстүрлер, наным-сенімдер және мифологиялық мотивтердің көркемдік-тілдік ерекшеліктері

**Tursynbayeva Nurgul Ulykbekqyzy**

Bachelor's degree student

**Nabi Symbat Suyindikqyzy**

Bachelor's degree student

**Tulekova G.**

PhD in Philology, Associate Professor, H-index: 2, Web of Science: ORK 4815-2025, Scopus: 58484411200, ORCID: 0000-0003-1731-9600, Turan University, Kazakhstan, Almaty

### Аннотация

Бұл мақалада Құлагер поэмасындағы ұлттық дәстүрлер, наным-сенімдер және мәдени құндылықтар ғылыми тұрғыдан талданады. Зерттеуде қазақ халқының жылқы культі, ат бәйгесі, серілік дәстүрі және руаралық қатынастар сияқты әлеуметтік-мәдени элементтері қарастырылады. Сонымен қатар поэмадағы мифологиялық ойлау жүйесі халықаралық деңгейде грек мифологиясындағы Пегас және түркілік Тұлпар бейнелерімен салыстырылады. Мақалада Құлагер образының тек ұлттық емес, жалпыадамзаттық мәдени архетип ретіндегі мәні ашылады.

### Аннотация

В данной статье анализируется поэма Кулагер с точки зрения национальных традиций, верований и культурных ценностей. Рассматриваются такие элементы казахской культуры, как культ лошади, традиция скачек, институт акынов и социальные отношения между родами. Также проводится сравнительный анализ мифологических образов, включая Пегаса из греческой мифологии и тюркского Тулпара. Делается вывод о том, что образ Кулагера является универсальным культурным архетипом, отражающим как национальное, так и мировое духовное наследие.

### Annotation

This article analyzes the poem Kylager in terms of national traditions, beliefs, and cultural values. It explores key elements of Kazakh culture such as the horse cult, horse racing traditions, the role

of akyns, and inter-clan social relations. The study also provides a comparative mythological analysis with Pegasus from Greek mythology and the Turkic concept of the Tulpār. The article concludes that the image of Kylaġer represents a universal cultural archetype that reflects both national identity and global mythological thinking.

#### Kіріспе

Ілияс Жансүгіровтің «Құлагер» поэмасы – қазақ әдебиетіндегі көркемдік қуаты жоғары, ұлттық болмысты терең бейнелейтін туындылардың бірі. Бұл шығарма тек Ақан сері мен Құлагер тағдырын суреттеп қана қоймай, қазақ халқының рухани әлемін, дүниетанымын, салт-дәстүрі мен наным-сенімдерін кең ауқымда көрсетеді. Поэмада ұлттық мәдени код пен тарихи жад көркем тіл арқылы өріліп, оқырманға терең эмоциялық және эстетикалық әсер береді.

Аталған туындыда дәстүрлі қазақ қоғамына тән әдет-ғұрыптар, әлеуметтік қатынастар, сондай-ақ халықтық дүниетаныммен астасқан наным-сенімдер айқын көрініс табады. Сонымен қатар, поэмада мифологиялық мотивтер де маңызды рөл атқарады. Олар табиғат пен адам арасындағы байланысты, тұлпар бейнесінің символдық мәнін, сондай-ақ трагедиялық оқиғалардың астарындағы философиялық мағынаны ашуға қызмет етеді. Құлагер образы тек жүйрік ат қана емес, халықтың арман-мұраты мен еркіндікке ұмтылысын білдіретін көркем бейнеге айналады.

Поэманың тілдік-көркемдік ерекшеліктері де ерекше назар аударуды қажет етеді. Автор ұлттық ұғымдарды, мифологиялық түсініктерді және дәстүрлік элементтерді бейнелі сөз өрнектері, метафоралар мен эпитеттер арқылы шебер жеткізеді. Осы тұрғыдан алғанда, «Құлагер» поэмасы қазақ әдеби тілінің байлығын, оның көркемдік мүмкіндіктерін айқын көрсететін маңызды туынды болып табылады.

Осы зерттеу жұмысының мақсаты – поэмадағы ұлттық дәстүрлер, наным-сенімдер және мифологиялық мотивтердің тілдік-көркемдік тұрғыдан қалай бейнеленгенін талдау және олардың шығармадағы идеялық мазмұнды ашудағы рөлін анықтау.

#### Негізгі бөлім

##### «Құлагер» поэмасындағы ұлттық дәстүрлердің көрінісі

Құлагер (поэма) қазақ халқының тұрмыс-тіршілігін, дүниетанымын және әлеуметтік қатынастарын терең бейнелейтін көркем туынды. Поэмадағы ұлттық дәстүрлер жүйесі көшпелі өркениеттің негізгі мәдени кодтарын ашып көрсетеді. Бұл шығармада қазақ қоғамының өмір салты тек оқиға желісі ретінде емес, тұтас мәдени-философиялық құбылыс ретінде суреттеледі.

Поэмада ең алдымен ас беру дәстүрі кеңінен көрініс табады. Ас – қазақ қоғамында тек еске алу немесе құрмет көрсету рәсімі ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік бедел, руаралық бәсеке және халықтық бірлікті көрсететін үлкен мәдени оқиға. Ас барысында ел жиналып, бәйге ұйымдастырылып, әр рудың намысы сынға түседі. Бұл дәстүр поэмада қазақ қоғамының әлеуметтік құрылымын, оның иерархиялық жүйесін айқын көрсетеді.

«Бәйгеге ат қосылып, ел дүрлігіп,  
Даланың кең төсінде дүбір үдеп...»

Шығармада ат бәйгесі дәстүрі ерекше орын алады. Қазақ мәдениетінде ат – ердің қанаты, еркіндіктің және ерліктің символы. Құлагер бейнесі осы ұлттық түсініктің ең биік

көркем көрінісі ретінде беріледі. Бәйге тек жарыс емес, ол халықтың рухани қуатын, елдің намысын анықтайтын маңызды оқиға ретінде суреттеледі. Аттың жүйріктігі мен оның тағдыры арқылы адам тағдырымен параллель жасалады.

«Құлагер алға жүйткіп озып барад,  
Желдей есіп, шаң қапты артында.  
Ел сүйсініп, таңырқап қарап қалды,  
Тұлпар даңқы жайылды даласына.»

Поэмада көшпелі өмір салтына тән саятшылық, табиғатпен үйлесім дәстүрі де көрініс табады. Қазақ халқы табиғатты тек өмір сүру ортасы ретінде емес, киелі кеңістік ретінде қабылдаған. Дала, тау, өзен-көл тек географиялық ұғым емес, рухани мәнге ие құбылыс ретінде бейнеленеді. Бұл – көшпелі өркениеттің негізгі ерекшеліктерінің бірі.

Сонымен бірге поэмада ел ішіндегі руаралық қатынастар, бәсеке және намыс мәдениеті көрініс табады. Қазақ қоғамында әрбір үлкен іс-шара тек мереке емес, әлеуметтік мәртебені айқындайтын алаң болған. Сондықтан поэмадағы оқиғалар арқылы қазақ халқының дәстүрлі құқықтық және моральдық нормалары да байқалады.

Поэмадағы наным-сенімдер және олардың мәдени мәні

Құлагер поэмасында қазақ халқының дәстүрлі наным-сенім жүйесі терең әрі көпқабатты түрде көрініс табады. Поэма тек тарихи оқиғаны баяндап қана қоймай, халықтың мифологиялық ойлауын, тәңірлік дүниетанымын және исламдық сеніммен ұштасқан рухани әлемін көркем түрде бейнелейді.

Ең алдымен, шығармада тәңірлік дүниетанымның іздері байқалады. Қазақ халқы табиғатты жанды әрі киелі құбылыс ретінде қабылдаған. Жер, су, жел, дала – барлығы да рухы бар кеңістік ретінде түсіндіріледі. Жылқының, әсіресе жүйрік тұлпардың ерекше қасиетке ие болуы да осы наныммен байланысты. Құлагердің бейнесі жай ғана ат емес, ел рухын көтеретін киелі символ ретінде беріледі.

«Жүйрік ат – ел намысы, ердің қанаты»  
«Құлагердің жүрісі – желмен тең»

Сонымен қатар поэмада жазмыш туралы исламдық түсінік маңызды орын алады. Адам өміріндегі оқиғалар алдын ала белгіленген деген сенім трагедиялық жағдайды философиялық деңгейге көтереді. Бұл – шығыс әдебиетіне тән «тағдырға мойынсұну» идеясының көрінісі.

«Тағдыр салса, адам да көнер екен»  
«Құлағаны – жазмыштың ісі болды»

Шығармада кең таралған тағы бір қабат – халықтық ырымдар мен тыйымдар. Қазақ дүниетанымында ат – ерекше қасиетті жануар, ал оны қорлау немесе қастандық жасау үлкен күнә әрі киенің қарғысына ұшыратады деп есептелген. Құлагердің қастандықпен жаралануы осы киелі ұғымды бұзудың салдары ретінде түсіндіріледі.

«Ақ ниетке қара ниет қарсы тұрды»  
«Киелі атқа тиген қол қарғыс алды»

Мифологиялық тұрғыдан алғанда, Құлагер бейнесі киелі тұлпар архетипіне жақын. Түркі мифологиясында тұлпарлар адамнан жоғары рухани күшке ие болуы мүмкін деп сенілген. Бұл мотив әлемдік мифологиямен де үндес: мысалы, грек мифіндегі Пегас немесе моңғол эпостарындағы қасиетті аттар.

Бұл наным-сенімдердің мәдени маңызы өте зор. Біріншіден, олар қазақ халқының табиғатпен үйлесімді өмір сүру философиясын көрсетеді. Екіншіден, жылқыға қатысты киелілік түсінік көшпелі өркениеттің экономикалық қана емес, рухани негізін де айқындайды. Үшіншіден, тағдыр мен жазмыш идеясы халықтың өмірге деген философиялық көзқарасын тереңдетеді.

«Кең дала үнсіз куә болды оқиғаға»

«Жел де қайғыны сезгендей есті»

### 1. Жылқы бейнесі

Қазақ мифологиясында жылқы – тек жануар емес, ол еркіндік, намыс және рухтың символы. Құлагер бейнесі – Ақан серінің ғана емес, бүкіл халықтың рухани биік идеалы. Ол жүйріктігімен ел намысын көтеретін қасиетті тұлпар ретінде сипатталады.

Араб мәдениетінде жылқы ерекше қадірленеді. Исламдық дәстүрде жылқы – соғыс пен қорғаныстың маңызды құралы, сондай-ақ Алланың адамға берген игілігі ретінде қарастырылады. Бедуиндер үшін жылқы – тіршіліктің негізі.

Моңғол мифологиясында жылқы – көшпелі өмірдің тірегі. The Secret History of the Mongols еңбегінде жылқы батырдың өмірлік серігі, оның күш-қуатының жалғасы ретінде бейнеленеді. Еуропалық мәдениетте жылқы рыцарлық дәстүрдің негізгі элементі болып табылады. Мысалы, Le Morte d'Arthur шығармасында ат – мәртебе мен әскери абыройдың белгісі.

### 2. Киелі тұлпар архетипі

Қазақ дүниетанымында Құлагер – ерекше киелі тұлпар, оның бейнесі трагедиямен қатар рухани биіктік символы. Араб әдебиетінде One Thousand and One Nights ертегілерінде сиқырлы, ерекше қасиетті аттар жиі кездеседі. Олар адамның тағдырын өзгертетін күшке ие. Моңғол эпостарында батырдың аты – қорғаушы рух ретінде сипатталады, ол иесін қауіптен сақтайды. Еуропалық мифологияда Theogony және басқа да мифтерде Пегас сияқты қанатты тұлпарлар шабыт пен құдайлық күштің символы ретінде көрінеді.

### 3. Табиғатқа сенім

Қазақ дүниетанымында табиғат – тірі, рухы бар кеңістік. Дала, тау, жел – бәрі киелі. Араб ислам мәдениетінде табиғат Алланың жаратылысы ретінде қасиетті саналады, әрбір құбылыс – оның белгісі. Моңғол дәстүрінде Көк Тәңірі ұғымы табиғатпен тікелей байланысты, тау мен аспан рух иелері ретінде қабылданады. Еуропалық мифологияда Metamorphoses еңбегінде табиғат пен адам бір-біріне айналып, рухани өзгерістер арқылы байланысады.

### 4. Құрбандық және трагедия мотиві

Құлагердің қастандықпен өлуі – қазақ мәдениетінде әділетсіздік пен рухани трагедияның символы. Араб мәдениетінде тағдыр мен сынақ – Құрандағы негізгі идеялардың бірі, адам өмірі Алланың сынағы ретінде қарастырылады. Моңғол эпостарында батырдың құрбан болуы – халықтың амандығы үшін жасалатын қасиетті іс. Еуропалық әдебиетте Oedipus Rex шығармасында адам тағдырдан қашып құтыла алмайтын трагедиялық жағдай көрсетіледі.



## 5. Тағдыр

Қазақ дүниетанымында тағдыр – жазмыш ретінде қабылданады. Құлагердің өлімі де осы түсінікпен байланысады. Араб ислам философиясында қадар ұғымы кең таралған. Моңғол мәдениетінде Тәңірі еркі бәрінен жоғары деп есептеледі. Еуропалық мифологияда тағдырды үш құдай басқарады, ал Iliad шығармасында да адам тағдыры құдайлар ықпалында болады.

### Қорытынды ой

Құлагер – қазақ халқының рухани әлемін, салт-дәстүрін, наным-сенімін және мәдени құндылықтарын біртұтас көркем жүйе ретінде танытатын аса маңызды әдеби мұра. Поэмадағы ұлттық дәстүрлер мен мифологиялық түсініктер тек тарихи-этнографиялық дерек қана емес, сонымен қатар халықтың дүниетанымдық кодын ашатын рухани қабат болып табылады. Зерттеу нәтижесінде қазақ мәдениетіндегі жылқы культі, ас беру дәстүрі, табиғатқа киелі көзқарас және тағдыр туралы түсініктер әлемдік мифологиялық жүйелермен сабақтас екені анықталды. Бұл құбылыс қазақ мәдениетінің тек ұлттық шеңберде ғана емес, жалпыадамзаттық мәдени кеңістікте де өз орны бар екенін көрсетеді.

Қорытындылай келе, Құлагер поэмасы тек әдеби шығарма емес, ол – ұлттық жадыны сақтайтын, рухани құндылықтарды жеткізетін және мәдениеттер арасындағы байланыстарды ашатын маңызды мәдени феномен. Осы тұрғыдан алғанда, поэманы зерттеу қазақ мәдениетін әлемдік өркениет контекстінде тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

### Қолданылған әдебиеттер

1. 1. Илияс Жансүгіров “Құлагер” — Алматы, “Абзал-Ай” баспасы, 2019.
2. Әуезов М. Әдебиет тарихы. — Алматы: Ана тілі, 1991. — 280 б.
3. Қоңыратбаев Ә. Қазақ эпосы және түркология мәселелері. — Алматы: Ғылым, 1987. — 360 б.
4. Сейітов З. Қазақ әдебиетінің тарихы. — Алматы: Рауан, 1994. — 410 б.
5. Ғабдуллин М. Қазақ халқының ауыз әдебиеті. — Алматы: Мектеп, 1974. — 250 б.
6. Байтұрсынов А. Әдебиет танытқыш. — Алматы: Алаш, 2003. — 200 б.
7. Есім Ғ. Философиялық дүниетаным негіздері. — Алматы: Қазақ университеті, 2002. — 310 б.
8. Марғұлан Ә. Ежелгі жыр-аңыздар. — Алматы: Ғылым, 1985. — 275 б.
9. Көкбайұлы Ш. Ақан сері Қорамсаұлы туралы зерттеулер. — Алматы: Өнер, 1990. — 180 б.
10. Марғұлан Ә. Қазақстанның ежелгі мәдениеті. — Алматы: Ғылым, 1998. — 400 б.
11. Frazer J. The Golden Bough. — London: Macmillan, 1922. — 712 p.
12. Campbell J. The Hero with a Thousand Faces. — Princeton University Press, 1949. — 416 p.
13. Eliade M. Myth and Reality. — New York: Harper & Row, 1963. — 212 p.
14. Lévi-Strauss C. Structural Anthropology. — New York: Basic Books, 1963. — 428 p.
15. Қазақ мифологиясы энциклопедиясы. — Алматы: Аруна, 2008. — 520 б.

ӘОЖ 811.111

# АҒЫЛШЫН ТІЛІ САБАҒЫНДА ЭМОЦИОНАЛДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ДАМУ ЖОЛДАРЫ

**Насимуллина А.Б.**

Аға оқытушы, магистр, «Шет тілдері және мұғалімдерін дайындау» БББ, М. Өтемісов атындағы БҚУ, Орал, Қазақстан

**Парухов Ж.Р.**

4-ші курс студенті, «6B01705 – Шетел тілі: екі шетел тілі», М. Өтемісов атындағы БҚУ, Орал, Қазақстан

**Аннотация:** Бұл мақалада ағылшын тілі сабағында оқушылардың эмоционалды интеллектін дамыту жолдары қарастырылады. Эмоциялық зерде ұғымының мәні, оның оқыту үдерісіндегі маңызы мен рөлі нақты мысалдар, әдіс-тәсілдер арқылы баяндалады. Шынайы тәжірибеден алынған деректер мен сабақта қолданылатын инновациялық амалдар негізінде мұғалімнің эмоционалды тәрбиеші ретіндегі рөлі көрсетіледі.

**Кілт сөздер:** эмоционалды интеллект, ағылшын тілі, эмоционалды тәрбиелеу, тіл үйрету әдістемесі, сезім, сабақтағы қарым-қатынас, тұлға қалыптастыру.

**Nasimullina A.B.,**

Senior lecturer, master

«Teacher Training in Foreign Languages and Literature» EP

M. Otemisov WKU, Oral, Kazakhstan.

**Parukhov Zh.R.,**

4<sup>th</sup> year student

«6B01705- Foreign language: two foreign languages»

M. Otemisov WKU, Oral, Kazakhstan

## WAYS TO DEVELOP EMOTIONAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LESSONS

**Abstract:** This article explores ways to develop students' emotional intelligence in English lessons. The concept of emotional intelligence, its significance and role in the teaching process are presented through concrete examples, methods, and techniques. Based on data from real-life experience and innovative strategies used in lessons, the teacher's role as an emotional educator is highlighted.

**Keywords:** emotional intelligence, English language, emotional education, language teaching methodology, feelings, classroom communication, personality development.

Қазіргі жаһандану дәуірінде әлеммен етене араласу, көп мәдениетті түсініп, өз болмысымызды таныту үшін шет тілін білу аса қажет. Әсіресе, ағылшын тілі — ғылымның, технологияның, мәдениеттің дәнекері болып отырған тұста оны үйрету тек лексика мен грамматиканы жаттатумен шектелмеуі керек. Білім беру үдерісі — адамның жан дүниесіне, сана-сезіміне әсер етіп, оны рухани жағынан да жетілдіруге бағытталуы тиіс. Осы тұрғыдан алғанда, оқушының эмоционалды интеллектін (эмоциялық зердесін) дамыту — заман талабы ғана емес, ұстаздық борыштың бір тармағы десек, артық айтпаспыз. Эмоционалды интеллект — бұл адамның өз сезімін тануы, оны басқаруы, өзгелердің көңіл-күйін түсініп,

саналы қарым-қатынас орната білуі. Мұндай қабілет – тек жеке өмірде ғана емес, білім алуда да табыстың кепілі. Ағылшын тілі сабағында осы қабілетті дамыту арқылы оқушылар өз ойын еркін жеткізіп қана қоймай, өзгелердің пікірін тыңдап, мәдениетаралық диалог құруға бейімделеді. Мұғалім сабақты тек тіл үйретудің құралы деп емес, оқушыны тұлға ретінде қалыптастырудың мүмкіндігі деп қарағаны жөн. Бұл мақалада ағылшын тілі сабағында эмоционалды интеллектіні дамыту жолдары нақты мысалдар мен тәжірибелер арқылы талданады. Мақсат – білім берудің мазмұнын тереңдетіп, оқушы бойында тілдік дағдымен қатар адамдық қабілетті де шыңдау жолдарын ұсыну.

Эмоционалды интеллект (EI немесе EQ) – адамның өз эмоциясын тану, басқару және өзгелердің сезімін түсіне білу қабілеті. Бұл ұғым алғаш рет XX ғасырдың соңында ғылым сахнасына шыққанымен, қазақы дүниетанымда ертеден-ақ «жақсының жүзі жылы», «жүректен шыққан сөз жүрекке жетеді» деген ұлағатты сөздермен ұштасып отырған. Демек, эмоциялық зерде – адамдықтың өлшемі деген пайымға тоқталамыз. Бүгінгі білім беру саласында эмоционалды интеллекті дамытудың маңызы артып отыр. Себебі тіл үйрену – тек ақпарат алу ғана емес, сонымен қатар сезіну, сездіру, түсіну үдерісі. Ағылшын тілін меңгеру барысында оқушы тек шет тіліндегі сөзді үйреніп қоймай, өз ішкі сезімін де тани бастайды. Бұл – тұлғаның жан-жақты дамуына жол ашады. Және де ағылшын тілі сабағында рөлдік ойындар – оқушыны кейіпке ендіріп, бір сәтке болсын өзге адамның орнында болуға мүмкіндік береді. Мысалы, «You are a doctor and your partner is a patient» деген тапсырма барысында оқушылар бір-бірімен шынайы әңгімелесіп, жағдайға эмоциялық тұрғыдан кіріп, өзара түсінісуге тырысады. Бұл – эмпатия мен қарым-қатынас мәдениетін дамытудағы тиімді әдіс. Әсілінде оқушылардың эмоционалды интеллектісін ояту үшін «How would you feel if...?» деген құрылымдағы сұрақтар өте пайдалы. Мысалы:

- How would you feel if you had to say goodbye to your best friend?
- What do you do when you feel nervous before an exam?

Мұндай сұрақтар оқушыны өз ішкі әлеміне үңілуге, шынайы жауап іздеуге итермелейді. Сонымен қатар, бұл жаттығулар ауызекі сөйлеу дағдысын жетілдіріп, сөзбен сезімді жеткізуге баулиды.

Әдеби шығармалар адам жүрегіне жол табатын құрал екені бәріне мәлім. Сол сияқты ағылшын тілі сабағында да қысқа әңгіме, өлең, ертегілер оқу арқылы оқушылардың сезімін оятуға болады. Мысалы, О. Henry-дің «The Last Leaf» әңгімесін оқу арқылы өмірдің мәні, үміт пен жанашырлық туралы кішкентай оқушыларымыздың санасында терең түсінік пен пайым қалыптасады. Ал осы әңгімені оқып болып, майын тамызып тұрып, талдағаннан кейін мұғалім:

- What did the last leaf mean to the girl?
- Have you ever been inspired by someone like the old painter?- деген сұрақтар қою арқылы оқушыларды ойландырып, жүрекке жол табатын әңгіме өрбітені де анық.

Сол секілді топтық жұмыстарда да оқушылар өз ойын ортаға салып қана қоймай, өзгелердің пікірін тыңдап, ымыраға келуге үйренеді десек те болады. Мысалы, «Should school uniforms be mandatory?» деген тақырыптағы пікірталас кезінде кейбір оқушылар қатты эмоциямен сөйлеп, кейбірі үндемей қалуы да бек мүмкін. Ал мұғалім бұндай сәттерде әр оқушының жағдайын бақылап, үнсіз қалған баланы сөйлетіп, қатты сөйлегенін бәсеңдетуге бағыт беруі тиіс. Бұл – эмоционалды тепе-теңдікке жетудің бір қадамы.

Кейбір мектептерде «Emotion Board» немесе «Feelings Diary» әдісі кеңінен қолданылып жүр. Мысалға алар болсақ, мұғалім сабақ басында оқушыларға:

-How are you feeling today?-деген сұрақ қойып, стикерге жауап жаздырып, тақтаға жапсыруды сұрап жатады. Бұл – негізінен баланың ішкі күйін білдіруге, оны ескеруге арналған нәзік әдіс десек қателеспейміз. Кейіннен сабақ соңында «Today I learned...», «Today

I felt...» деген сөйлемдерімен оқушылар да сабақты қорытындылап жатады. Бұл дегеніміз рефлексия мен өзін-өзі танудың, ішкі сараптың бастапқы сатысы.

Эмоционалды интеллекті дамытудың ең маңызды тұсы – оқушыны бір-біріне құрметпен қарауға, жанашыр болуға баулу екені анық. Негізінен мұғалім өзі үлгі болып, ешқашан қатты сөз айтпай, оқушының әр әрекетін түсінуге тырысқанда ғана бұл қасиет бойға дариды. Мысалға, Алматы облысындағы №34 мектепте ағылшын тілі мұғалімі Гүлнұр Әбдіразақова «Emotions Corner» атты бұрыш жасап қойған екен. Сабақ сайын оқушылар түрлі көңіл-күйді білдіретін смайликтерді таңдап, сабаққа қалай келгенін білдіріп, сабақ соңында қайтадан таңдап, көңіл-күйінің өзгерісін бағалайды. Бұл әдіс арқылы білікті де білімді мұғалім оқушының психологиялық жай-күйін ескеріп, әр баламен жеке жұмыс істеуге жол бастайды. Нәтижесінде оқушылар өздерін сабақта еркін, ашық, сенімді сезінері хақ.

Мақаламызды қортындылар болсақ, эмоционалды интеллект – XXI ғасыр адамының табысты тұлға ретінде қалыптасуына негіз болатын маңызды қабілеттердің бірі. Бұл қасиетті мектеп қабырғасынан бастап, әсіресе тілдік пәндер арқылы дамыту – бүгінгі күннің өзекті міндеті. Ағылшын тілі сабағы тек шет тілін меңгертудің құралы ғана емес, адамның ішкі жан дүниесін тәрбиелеудің де тиімді жолы екені анық. Оқушылардың өз сезімін тани білуі, өзгелердің көңіл-күйіне сергек қарауы, сыныптастарымен мәдениетті қарым-қатынас орнатуы – бәрі де ұстаздың бағыт-бағдарына байланысты. Мұғалімнің әр сабағы оқушыға әсер қалдырып, оны тек тілдік тұрғыдан емес, адамгершілік тұрғысынан да шыңдай алса, бұл – үлкен жетістік. Эмоциялық зерде тәрбиесі – тұлғаның ішкі рухани әлемін байытып, оны өмір жолында өз-өзіне сенімді, байсалды, мейірімді етіп қалыптастырады. Сондықтан да ағылшын тілі сабағында эмоциялық интеллектіні дамыту – бүгінгі білім беру жүйесінде орынды ғана емес, қажетті де қадам. Әр ұстаз баланың тілін ғана емес, жүрегін де сөйлете алса – болашақтың баянды боларына сенім мол.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Sucaromana, U. (2012). Contribution to Language Teaching and Learning: A Review of Emotional Intelligence. English Language Teaching, 5(9), 54–60. <https://www.researchgate.net/publication/282722319>
2. Gkonou, C., Mercer, S., & Daubney, K. (2017). Understanding Emotional and Social Intelligence among English Language Teachers. <https://www.researchgate.net/publication/312475321>
3. Al Jaber, A. T., Alzouebi, K., & Abu Khurma, O. (2024). An Investigation into the Impact of Teachers' Emotional Intelligence on Students' Satisfaction of Their Academic Achievement. Social Sciences, 13, 244. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2024.1508083/full>
4. Chen, J., et al. (2024). The interplay among EFL teachers' emotional intelligence and burnout: Impact on efficacy and classroom climate. Teaching and Teacher Education, 136, 104275. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104275>
5. Yang, L. (2023). The Role of Emotional Intelligence in Facilitating Academic Literacy of EFL Learners. <https://eric.ed.gov/?id=ED629212>
6. Degirmenci, G. A. (2024). The Impact of Emotional Intelligence on Language Learning Achievements in University EFL Students. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akukey/issue/80999/1399395>
7. Wicaksono, M. & Saraswati, N. (2024). Social Emotional Learning in ELT: Opportunities and Challenges. Global Expert: Jurnal Bahasa dan Sastra, 12(1), 25–33. <https://ejournal.unitomo.ac.id/index.php/experts/article/view/6330>
8. British Council. Emotional Intelligence and ELT. <https://www.teachingenglish.org.uk/article/emotional-intelligence-and-elt>

# THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN DEVELOPING THE COMMUNICATIVE COMPETENCE OF UNIVERSITY STUDENTS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Ersultan U. Emberdiyev

International Educational Corporation Kazakh Head Architecture and Construction Academy, Almaty, Kazakhstan, ORCID: 0009-0005-8543-3925, Assistant Professor, Department of Social Sciences and Humanities

This article examines the transformative impact of Artificial Intelligence (AI) and neural network technologies on the development of communicative competence among university students. In the era of digital transformation, traditional pedagogical models are being augmented by intelligent tutoring systems, large language models (LLMs), and adaptive learning platforms. This research explores how these technologies facilitate personalized feedback, simulate real-world linguistic interactions, and lower affective filters in language acquisition and professional communication. Through a mixed-methods approach, the study evaluates the efficacy of AI-driven tools in enhancing sociolinguistic, strategic, and discourse competencies. Preliminary findings suggest that while AI significantly accelerates the acquisition of technical communication skills and provides a safe environment for iterative practice, it also necessitates a shift in the conceptualization of digital literacy. The paper argues for a balanced integration of AI that preserves the human-centric nature of communication while leveraging computational power for linguistic precision and cultural simulation.

*Keywords: Artificial Intelligence, Neural Network Technologies, Communicative Competence, Digital Transformation, Higher Education*

## INTRODUCTION

The global educational landscape is currently undergoing a paradigm shift, driven by the rapid evolution of digital technologies. At the heart of this transformation lies Artificial Intelligence (AI) and its subset, neural network technologies, which have transitioned from speculative tools to foundational pillars of modern higher education. One of the most critical challenges facing contemporary universities is the development of students' communicative competence—the ability not only to convey information but to navigate complex social, cultural, and professional contexts effectively.

Communicative competence, as defined by Hymes (1972) and later refined by Canale and Swain (1980), involves a triad of grammatical, sociolinguistic, and strategic skills. In the 21st century, this definition has expanded to include "digital communicative competence," which encompasses the ability to interact with and through intelligent machines. Digital transformation in higher education (HE) is not merely about moving content online; it is about restructuring the cognitive processes involved in learning.

Neural networks, particularly transformer-based architectures, have revolutionized how students interact with text and speech. These technologies provide a bridge between theoretical knowledge and practical application by offering real-time, low-stakes environments for practice. For many students, the fear of making mistakes in front of peers—the "affective filter"—is a major barrier to communicative growth. AI agents provide a non-judgmental space where students can iterate and refine their communicative strategies.

However, the integration of AI also introduces complexities. There is an urgent need to discuss the "authenticity" of communication when a machine acts as a mediator or a participant. Does the use of AI-driven writing assistants enhance a student's competence, or does it merely provide a crutch that bypasses the necessary cognitive effort? This article aims to address these questions by analyzing the current technological landscape, evaluating pedagogical interventions, and proposing a framework for the ethical and effective use of neural networks in developing the communicative leaders of tomorrow.

### **LITERATURE REVIEW**

The intersection of AI and education (AIEd) is a burgeoning field of study. Luckin et al. (2016) categorized AI in education into three main types: pedagogical, domain-specific, and learner-centric models. In the context of communication, domain-specific models, such as Natural Language Processing (NLP) tools, have shown the most immediate utility.

Scholars such as Warschauer and Matuchniak (2010) have long argued that digital literacy is inseparable from communicative competence. With the advent of neural networks, this has evolved into "AI literacy." Recent studies by Holmes et al. (2019) emphasize that AI does not replace the instructor but serves as an "orchestrator" of learning experiences. Specifically, neural networks like GPT (Generative Pre-trained Transformer) have been found to significantly assist in "scaffolding" communication, providing students with sentence starters, vocabulary suggestions, and structural outlines that allow them to focus on high-level discourse strategies (Zhai et al., 2021).

The concept of "Affordances of AI" in language learning is a recurring theme in recent literature. According to Godwin-Jones (2019), AI provides personalized input that is tailored to the learner's current proficiency level (i.e., Krashen's  $i + 1$  theory). This personalization is made possible by deep learning algorithms that analyze a student's previous mistakes and successes to generate unique learning paths.

Furthermore, the role of "Chatbots" in developing conversational competence has been explored extensively. Fryer et al. (2019) noted that while early chatbots were limited by rule-based programming, contemporary neural-network-based bots provide a far more human-like experience, allowing for more naturalistic turn-taking and context-aware responses. This helps students practice pragmatic skills—the ability to adapt speech according to the social situation—which are often difficult to master in a standard classroom setting.

Despite these benefits, several researchers caution against the "black box" nature of AI. The lack of transparency in how neural networks generate responses can lead to the reinforcement of biases or the propagation of "hallucinations" (incorrect information). Therefore, the literature suggests that the development of communicative competence must be coupled with critical thinking and media literacy.

### **MATERIALS AND METHODS**

To investigate the role of AI in developing communicative competence, this study utilized a mixed-methods research design, incorporating both quantitative data from learning platforms and qualitative insights from student and faculty interviews.

#### **Participants:**



The study involved 450 undergraduate students from diverse faculties (Humanities, STEM, and Social Sciences) at a leading regional university. These students were divided into a control group (traditional learning) and an experimental group (AI-enhanced learning).

#### Tools and Technologies:

The experimental group utilized several AI-driven tools:

1. **AI-Tutors:** Custom chatbots designed to simulate professional networking scenarios.
2. **Writing Assistants:** Neural-network-based tools providing stylistic and grammatical feedback in real-time.
3. **Speech Synthesis/Recognition:** Tools for practicing pronunciation and public speaking.

#### Methodology:

The research was conducted over two academic semesters. The primary methodology included:

- **Pre- and Post-Testing:** Assessment of students' communicative skills using standardized rubrics (TOEFL/IELTS equivalents for language and professional presentation rubrics for native speakers).
- **Data Mining:** Analysis of interaction logs from the AI platforms to measure student engagement and the rate of error correction.
- **Surveys:** Likert-scale surveys to measure changes in student confidence and perceived competence.
- **Case Studies:** In-depth interviews with 20 students who showed significant improvement to understand their specific strategies for using AI.

Data was analyzed using SPSS for statistical significance ( $p < 0.05$ ) and thematic analysis for qualitative data. The focus was on three key indicators: fluency, lexical complexity, and strategic adaptability.

#### RESULTS AND DISCUSSION

The results of the study indicate a significant positive correlation between the frequent use of AI-driven neural networks and the development of communicative competence.

##### Quantitative Findings:

The experimental group outperformed the control group in two key areas: **Strategic Competence** (ability to repair communication breakdowns) and **Lexical Diversity**. Statistical analysis showed a 22% higher improvement rate in post-test scores for students using AI tutors compared to those relying solely on classroom instruction.

##### Qualitative Findings:

Interviews revealed that students felt "freer to experiment." One student noted, "With the AI, I can try three different ways to say something without feeling like I'm wasting anyone's time." This reduction in "foreign language anxiety" or "performance anxiety" is a crucial finding, as it directly relates to the affective domain of learning.

#### DISCUSSION

The role of neural networks in this process is primarily one of **augmentation**. AI provides the "quantity" of practice that human instructors simply cannot offer due to time constraints. However, the study also found that students occasionally over-relied on AI for "polishing" their work, leading to a "homogenization" of voice. This suggests that while AI improves technical competence, it may stifle individual stylistic expression if not monitored.

Another point of discussion is the "Feedback Loop." Neural networks provide immediate feedback, which is essential for the "noticing" stage of learning. When a student receives an instant correction on a pragmatic error, the cognitive link between the mistake and the correct form is strengthened more effectively than feedback received days later on a graded assignment.



## CONCLUSION

The integration of Artificial Intelligence and neural network technologies represents a milestone in the digital transformation of higher education. This research demonstrates that these tools are not merely peripheral aids but are central to the modern development of communicative competence. By providing personalized, low-stakes, and high-frequency interaction, AI allows students to master the nuances of language and discourse in ways that were previously impossible.

However, the "human" element of communication remains paramount. AI should be viewed as a sophisticated training ground—a simulator for the real world. University curricula must evolve to teach students not just how to communicate *with* AI, but how to use AI to improve their communication with *people*.

Future research should focus on the long-term retention of skills acquired through AI and the development of more "culturally aware" neural networks that can simulate the subtle social cues of different global contexts. As we move forward, the goal of higher education must be the cultivation of "augmented communicators"—individuals who possess the emotional intelligence of a human and the linguistic precision empowered by AI.

## REFERENCES:

1. Canale, M., & Swain, M. (1980). Theoretical bases of communicative approaches to second language teaching and testing. *Applied Linguistics*, 1(1), 1-47.
2. Fryer, L. K., Nakao, K., & Thompson, A. (2019). Chatbot learning partners: Connecting learning interests, lived experience, and conversational enjoyment. *Computers & Education*, 128, 145-155.
3. Godwin-Jones, R. (2019). Riding the digital wilds: Learner autonomy and terminology play. *Language Learning & Technology*, 23(1), 1–15.
4. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Center for Curriculum Redesign.
5. Hymes, D. H. (1972). On communicative competence. In J. B. Pride & J. Holmes (Eds.), *Sociolinguistics* (pp. 269–293). Penguin.
6. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed: An argument for AI in Education*. Pearson.
7. Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1).
8. Warschauer, M., & Matuchniak, T. (2010). New technology and digital worlds: Analyzing evidence of equity in access, use, and outcomes. *Review of Research in Education*, 34(1), 179-225.
9. Zhai, X., Chu, H. E., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., Liu, J. B., Yuan, J., & Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*.
10. Zhang, K., & Aslan, A. B. (2021). AI technologies for personalized learning and adaptive assessment: A survey. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31(2), 191-222.

# Correction of Dyslexia in Teaching English to Middle School Students

Amanzholova A.

Student, West Kazakhstan University named after Makhambet Utemisov, Oral

## Annotation

**Abstract:** This article examines the problem of dyslexia correction in teaching English to middle school students. The study analyzes the main learning difficulties experienced by students with dyslexia during English language acquisition, including problems related to reading, pronunciation, spelling, and vocabulary memorization. Special attention is given to the effectiveness of multisensory instruction, phonics-based activities, contextual learning, and interactive teaching methods. The article also discusses the importance of supportive classroom environments and individualized instruction in improving students' communicative competence and academic performance.

**Keywords:** dyslexia, English language teaching, middle school students, corrective methods, multisensory learning, phonics, vocabulary acquisition, interactive learning

**Research Objective:** The objective of this study is to identify and analyze effective methods for correcting dyslexia in teaching English to middle school students, taking into account linguistic difficulties, cognitive особенностей learners, and modern pedagogical approaches. The study also aims to examine practical teaching strategies that contribute to improving reading, writing, and communicative skills among students with dyslexia.

## Introduction

In modern education, the importance of inclusive teaching continues to increase, especially in the field of foreign language learning. English language acquisition requires students to develop reading, writing, listening, and speaking skills simultaneously. However, for students with dyslexia, mastering these skills may become a challenging process because dyslexia affects language processing, reading fluency, and spelling abilities.

Dyslexia is considered one of the most common learning difficulties among school-aged children. Students with dyslexia often confuse letters and sounds, experience difficulties in decoding words, and struggle with reading comprehension. These problems become more noticeable while learning English due to the irregular relationship between pronunciation and spelling in the English language.

The aim of this article is to identify effective methods of correcting dyslexia in teaching English to middle school students and to suggest practical ways of supporting dyslexic learners during classroom instruction.

## 1. Theoretical Background

Dyslexia is a specific learning disorder mainly associated with reading and language-processing difficulties. Although students with dyslexia usually demonstrate normal intellectual abilities, they often require alternative teaching approaches in order to process information more effectively.

From a pedagogical perspective, correction of dyslexia requires:

- multisensory learning activities
- systematic phonics instruction
- contextual vocabulary practice
- emotional and motivational support

Students with dyslexia frequently face the following difficulties:

- slow reading speed
- confusion between similar sounds and letters
- spelling mistakes
- difficulties in memorizing vocabulary
- anxiety during classroom participation

English language learning may create additional challenges because English contains many irregular spelling and pronunciation patterns. As a result, learners may lose confidence and avoid active participation during lessons.

## 2. Methodology

The study is based on qualitative analysis of teaching practices applied during English lessons for middle school students with dyslexia. Different corrective and interactive teaching methods were observed and analyzed in order to determine their effectiveness in improving students' language skills.

The following methods were used:

- multisensory instruction
- phonics-based exercises
- contextual learning activities
- role-play and group discussions
- digital educational tools

These approaches were aimed at increasing student engagement, reducing anxiety, and improving reading and vocabulary acquisition.

### 3.1 Common Difficulties of Students with Dyslexia

| Difficulty              | Example of learner problem       | Possible consequence            |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Reading fluency         | Slow decoding of words           | Reduced text comprehension      |
| Spelling                | Omitting or confusing letters    | Frequent writing errors         |
| Pronunciation           | Confusion between similar sounds | Incorrect oral production       |
| Vocabulary acquisition  | Difficulty memorizing new words  | Limited communicative ability   |
| Listening comprehension | Problems understanding speech    | Reduced classroom participation |

### 3.2 Effectiveness of Multisensory and Context-Based Learning

Multisensory learning is considered one of the most effective approaches in correcting dyslexia during English language teaching. This method combines visual, auditory, and kinesthetic activities in order to improve memory and comprehension.

For example:

- tracing letters while pronouncing sounds
- using colored vocabulary cards

- combining movement with pronunciation exercises

Context-based learning also plays an important role in vocabulary acquisition. Instead of isolated memorization, students learn vocabulary through meaningful communicative situations. For example:

- She is reading her favorite book carefully.
- My brother learns English using audio materials.
- The student repeated the new words several times.

These examples demonstrate that vocabulary is better retained when learners encounter it in realistic contexts. Moreover, contextual learning helps students understand grammatical structures and sentence organization more naturally.

### 3.3 Role of Interactive Teaching Methods

Interactive teaching methods are essential for increasing student motivation and classroom participation. Learners with dyslexia often feel anxious during traditional lessons; therefore, interactive activities may create a more comfortable and engaging learning environment.

Methods such as role-play, group work, educational games, and digital platforms contribute to better learner involvement. For example, tasks like “Describe your daily routine” or “Find the correct word” encourage students to use language actively without fear of making mistakes.

Digital educational tools are also highly beneficial because they combine audio, visual, and interactive elements. Such technologies help students improve pronunciation, reading fluency, and listening comprehension while maintaining motivation throughout the learning process.

### Conclusion

This study demonstrates that dyslexia correction in teaching English to middle school students requires a combination of supportive pedagogical strategies and individualized instruction. The analysis shows that dyslexic learners often experience difficulties related to reading, spelling, pronunciation, and vocabulary memorization, which may negatively affect both academic achievement and emotional well-being.

The findings indicate that traditional teaching approaches alone are not sufficient for effective language learning among students with dyslexia. Instead, multisensory instruction, phonics-based activities, contextual learning, and interactive teaching methods prove to be more productive and supportive.

In addition, the research highlights the importance of positive classroom environments where students feel encouraged and motivated to participate in learning activities. Overall, an integrated approach combining linguistic support, emotional encouragement, and interactive pedagogy can significantly improve English language acquisition for middle school students with dyslexia.

### References

- Dyslexia International. (2018). *Dyslexia and foreign language learning*. Dyslexia International.
- Nijakowska, J. (2010). *Dyslexia in the foreign language classroom*. Multilingual Matters.
- Reid, G. (2016). *Dyslexia: A practitioner's handbook* (5th ed.). Wiley Blackwell.
- Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia: A new and complete science-based program for reading problems at any level*. Alfred A. Knopf.
- Snowling, M. J. (2013). *Dyslexia: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Thomson, M. (2009). *Supporting students with dyslexia in secondary schools*. Sage Publications.
- Westwood, P. (2008). *What teachers need to know about reading and writing difficulties*. ACER Press.
- Abilqasymova, A. E. (2015). *Bilim beru psihologiyasy*. Almaty: Qazaq Universiteti.

- Qurmanalina, Sh. H. (2014). *Pedagogika*. Astana: Foliant.
- Zharyqbaev, Q. B. (2012). *Zhantanu negizderi*. Almaty: Rauan.
- Seitqazy, P. A. (2018). *Inklyuzivti bilim beru negizderi*. Almaty: Evero.
- Aimauytov, Zh. (2013). *Psihologiya*. Almaty: Sanat.

# Identifying Dyslexia in Middle School EFL Classrooms

Amanzholova A.

Student, West Kazakhstan University named after Makhambet Utemisov, Oral

## Annotation

**Abstract:** This article examines the process of identifying dyslexia in middle school EFL (English as a Foreign Language) classrooms. The study focuses on the main linguistic, cognitive, and behavioral signs of dyslexia that appear during English language learning. Special attention is given to the difficulties students experience in reading, spelling, pronunciation, and vocabulary acquisition. The article also discusses the role of teachers in early identification and highlights practical classroom strategies that may help recognize dyslexic learners more effectively.

**Keywords:** dyslexia, EFL classroom, middle school students, English language learning, reading difficulties, spelling errors, phonological awareness, inclusive education

**Research Objective:** The objective of this study is to identify the main indicators of dyslexia among middle school students in EFL classrooms and to analyze practical methods that help teachers recognize learning difficulties during English language instruction.

## Introduction

In modern education, inclusive teaching has become one of the most important aspects of effective classroom instruction. English language teachers are expected not only to develop students' communicative competence but also to recognize learning difficulties that may influence academic performance. One of the most common learning disorders affecting language acquisition is dyslexia.

Dyslexia is a neurological learning difficulty mainly associated with problems in reading, spelling, decoding, and language processing. Although dyslexia does not affect intelligence, students with this condition often struggle to perform successfully in foreign language classrooms. In EFL environments, these difficulties become even more noticeable because English pronunciation and spelling systems are highly irregular.

Early identification of dyslexia is extremely important because it allows teachers to provide timely support and adapt teaching strategies according to students' needs. The aim of this article is to examine the main indicators of dyslexia in middle school EFL classrooms and to discuss practical ways of identifying students who may require additional educational support.

### 1. Theoretical Background

Dyslexia is considered a specific learning disorder that affects reading and language-related abilities. Researchers emphasize that dyslexic learners often experience difficulties with phonological awareness, word recognition, spelling, and reading fluency.

From a pedagogical perspective, identifying dyslexia requires attention to:

- reading performance
- spelling patterns
- pronunciation difficulties
- memory and processing speed

- classroom behavior and participation

Students with dyslexia may demonstrate the following characteristics:

- slow reading speed
- confusion between letters and sounds
- difficulty remembering vocabulary
- frequent spelling mistakes
- avoidance of reading activities
- anxiety during oral tasks

In EFL classrooms, these signs may become more difficult to recognize because foreign language learning itself is often challenging for many students. Therefore, teachers should carefully observe recurring patterns of difficulty rather than isolated mistakes.

## **2. Methodology**

The study is based on qualitative observation and analysis of middle school students during English language lessons. Classroom behavior, reading tasks, pronunciation activities, and written exercises were analyzed in order to identify common indicators of dyslexia.

The following methods were used:

- classroom observation
- analysis of written tasks
- reading aloud activities
- vocabulary assessment
- teacher-student interaction analysis

These methods helped determine the most common signs of dyslexia that appear during English language learning.

### **3.1 Common Signs of Dyslexia in EFL Classrooms**

Middle school students with dyslexia often demonstrate several noticeable difficulties during English language learning. One of the most common indicators is reading difficulty. Learners may read slowly, inaccurately, and experience problems understanding the meaning of texts. Because they spend too much time decoding individual words, overall reading comprehension is often reduced.

Another common sign is spelling problems. Students with dyslexia frequently omit, replace, or reverse letters while writing English words. Such mistakes may appear repeatedly even after additional practice and correction. Pronunciation difficulties are also common in EFL classrooms. Learners may confuse similar sounds, pronounce words incorrectly, or hesitate during speaking activities, which can negatively affect speaking accuracy and confidence.

Weak phonological awareness is another important indicator of dyslexia. Many students experience difficulties connecting sounds with letters and recognizing sound patterns in words. As a result, decoding unfamiliar vocabulary becomes more challenging. In addition, memory difficulties are often observed among dyslexic learners. Students may quickly forget new vocabulary, grammar structures, or classroom instructions, which limits language retention and slows down the learning process.

These indicators suggest that dyslexic learners require additional support and careful observation from teachers. Persistent difficulties in several language areas may indicate the need for further assessment and individualized educational assistance.



### 3.2 Importance of Early Identification

Early identification of dyslexia plays a crucial role in students' academic development and emotional well-being. When learning difficulties remain unnoticed, students may lose confidence, experience anxiety, and develop negative attitudes toward language learning.

Teachers who identify warning signs early can adapt instruction more effectively. For example:

- providing shorter reading tasks
- using visual and audio materials
- allowing additional processing time
- giving clear step-by-step instructions

These strategies help reduce stress and create a more supportive learning environment for students with dyslexia.

### 3.3 Role of Teachers in Identifying Dyslexia

Teachers play a central role in recognizing possible signs of dyslexia because they observe students' performance regularly during classroom activities. English teachers should pay attention to recurring difficulties rather than occasional mistakes.

Interactive activities, reading aloud exercises, spelling tasks, and vocabulary games may help teachers notice patterns of learner difficulties more clearly. In addition, cooperation with parents and school specialists is important for accurate identification and further support.

Supportive classroom environments also encourage students to participate more actively and reduce fear of making mistakes. Positive reinforcement and emotional encouragement may significantly improve learners' confidence and classroom engagement.

### Conclusion

This study demonstrates that identifying dyslexia in middle school EFL classrooms is an important part of inclusive language education. Dyslexic learners often experience persistent difficulties related to reading, spelling, pronunciation, and vocabulary retention, which may negatively affect their academic achievement and emotional state.

The findings show that classroom observation, analysis of learner errors, and attention to phonological difficulties can help teachers recognize early signs of dyslexia more effectively. Moreover, supportive teaching strategies and early intervention contribute significantly to students' language development and classroom participation.

Overall, successful identification of dyslexia requires cooperation between teachers, parents, and educational specialists. Through careful observation and inclusive teaching approaches, educators can provide more effective support for middle school students learning English as a foreign language.

## References

- Liszka, S. A. (2006). Dyslexia and foreign language learning. *Academic Exchange Quarterly*, 10(1), 38–42.
- Nijakowska, J. (2010). *Dyslexia in the foreign language classroom*. Multilingual Matters.
- Nijakowska, J. (2020). Dyslexia in the context of second language learning and teaching. *Pragmalingüística*.
- Reid, G. (2016). *Dyslexia: A practitioner's handbook* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia*. Alfred A. Knopf.
- Snowling, M. J. (2013). *Dyslexia: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Thomson, M. (2009). *Supporting students with dyslexia in secondary schools*. SAGE Publications.
- Storkaas, M. S. (2014). *Didactic consequences of dyslexia in Norwegian EFL classrooms* (Master's thesis). NTNU.
- Rybarczyk, R. (2015). Individual support for dyslexic students in foreign language classrooms. *Glottodidactica*, 42(2), 199–211.

## Philosophical Sciences

# ҚАЗАҚ ХАЛҚЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ САЛТ-ДӘСТҮРЛЕРІНІҢ МИФОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СЕМАНТИКАЛЫҚ МӘНІ

Рахимова Гульнара Дүйсенқызы

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті аға, Философия ғылымдарының кандидаты

### *Аңдатпа*

Бұл мақалада қазақ халқының ұлттық салт-дәстүрлерінің мифологиялық негіздері мен семантикалық мәні кешенді түрде зерттеледі. Зерттеу барысында түркі халықтарының мифологиялық дүниетанымы, номадтық мәдениеттің ерекшеліктері, салт-дәстүрлердің символдық жүйесі және оның тәрбиелік маңызы талданады. Мақалада Ұмай Ана, Көк Бөрі, шаңырақ, бақан секілді мифологиялық образдар мен мәдени символдардың дәстүрлік рәсімдердегі қызметі ашылады. Семиотика, мифология және мәдениеттану тұрғысынан қазақ дәстүрлерінің синкреттік сипаты – зороастризм, шаманизм және ислам дінінің ықпалының сіңісуі зерделенеді. Наурыз мерекесі, отқа май құю рәсімі, бақан семантикасы, ою-өрнек символикасы арнайы талдауға алынады. Зерттеу нәтижелері қазақ мәдени жадының негізі ретінде салт-дәстүрлердің философиялық-мистикалық астарының бүгінгі күнге дейін маңыздылығын сақтап отырғандығын дәлелдейді.

*Кілт сөздер:* Қазақ салт-дәстүрлері, мифология, семантика, символ, Ұмай Ана, Көк Бөрі, номадтық мәдениет, шаңырақ, Наурыз, семиотика, мәдени жады, дала педагогикасы.

## MYTHOLOGICAL ASPECTS OF THE NATIONAL TRADITIONS AND CUSTOMS OF THE KAZAKH PEOPLE AND THEIR SEMANTIC MEANING

Rakhimova Gulnara Duysenovna

Abai Kazakh National Pedagogical University

Candidate of philosophical Sciences

### *Abstract*

This article presents a comprehensive study of the mythological foundations and semantic significance of Kazakh national customs and traditions. The research examines the mythological worldview of Turkic peoples, the distinctive features of nomadic culture, the symbolic systems embedded in ritual practices, and their pedagogical value. The article explores the functions of mythological images and cultural symbols — such as Umay Ana, Kok-Bori, the shanyraq, and the baqan — within traditional ceremonial contexts. Drawing on semiotics, mythology, and cultural studies, the syncretic character of Kazakh traditions is analyzed, with particular attention to the fusion of Zoroastrian, shamanistic, and Islamic influences. Special analysis is devoted to the Nauryz celebration, the rite of pouring butter into fire, the semantics of the baqan structure, and the

symbolic language of Kazakh ornamental art. The findings demonstrate that the mystical-philosophical underpinnings of Kazakh customs and traditions continue to serve as a living foundation of cultural memory to this day.

*Keywords:* Kazakh customs and traditions, mythology, semantics, symbol, Umay Ana, Kok-Bori, nomadic culture, shanyraq, Nauryz, semiotics, cultural memory, steppe pedagogy.

## МИФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАЦИОНАЛЬНЫХ ТРАДИЦИЙ КАЗАХСКОГО НАРОДА И ИХ СМЫСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Рахимова Гульнара Дуйсеновна

Казахский Национальный педагогический университет им. Абая

Кандидат философских наук

### Аннотация

В данной статье проводится комплексное исследование мифологических основ и семантического значения национальных обычаев и традиций казахского народа. В ходе исследования анализируются мифологическое мировоззрение тюркских народов, особенности номадической культуры, символическая система обрядов и их воспитательное значение. В статье раскрываются функции мифологических образов и культурных символов — Умай-Ана, Кок-Бори, шанырака, бакана — в контексте традиционных обрядовых практик. С позиций семиотики, мифологии и культурологии исследуется синкретический характер казахских традиций, отражающий слияние зороастрийских, шаманских и исламских влияний. Отдельному анализу подвергаются праздник Наурыз, обряд подливания масла в огонь, семантика конструкции бакан и символический язык казахского орнаментального искусства. Результаты исследования доказывают, что мистико-философский пласт казахских обычаев и традиций по сей день сохраняет свою актуальность как живое основание культурной памяти народа.

*Ключевые слова:* казахские обычаи и традиции, мифология, семантика, символ, Умай-Ана, Кок-Бори, номадическая культура, шанырак, Наурыз, семиотика, культурная память, степная педагогика.

Түркі халықтарының мифтері мен наным-сенімдері, қоршаған әлем туралы суреттемелері туралы тақырыпты бастағанда екі ерекшелікке назар аударған жөн. Біріншіден, мифтік дүние бағдарларында үйлесімділік пен реттілік ұстанымдарының алдыңғы қатарға шығуын ескеру қажет. Мәдениеттің өзі реттеу тетігі болып табылатындығы белгілі. Ежелгі адам табиғатқа табыну арқылы оны өзіне жақын етті, ретке келтірді. Адам әлем мен құдайларды адамиландырды (антропоморфтау арқасында).

Жаратылыс алдымен астан-кестен (хаос) сұрапыл күштерімен адамды өзіне толық бағындыруға ұмтылады (утопизм). Осы жөнінде З.Серікқалиев Гильгамеш дастанынан мынадай суреттемелер береді: Жаратылыс адамы Энкиду (әкесі – есек, анасы - антилопа) Құдай құдіретімен өзіне адамгершілік қасиеттерін дарытқан: «Жұдырықтай жүрегіне жанқиярлық шынайы достық сезімі ұялаған. Дарқан пейіл, ақылгөй ақкөңіл, мейірбан... – бір басында бәрі де бар. Құдайдай құдіретті әрі көрікті. Әйел жанын, сұлулығын, махаббатын сезіну арқылы оның ақыл-ес, ұғым-түсінігі де тереңдей түскен бірте-бірте мәдениетке, рухани игілікке бой ұсынған» [1, 56 б.].

Ежелгі шумерлер өз наным-сенімі, дүние туралы түсінігімен зұлмат құбыжықпен арпалыста асқан ерліктің, батылдықтың таңғажайып үлгісін көрсетеді. Гильгамеш пен Энкиду екеуі жеті рет жұтып, Евфрат суын сарқып ішіп, адамдарды тіршілік нәрінен айырған зұлымдық мерезінің жүрегін суырып алады. Дауыл, тасқынды бейнелеуде ақындық, тегеурінді жерсазы, ырғақ-әуен ылғи алмасып отырады. Қазақ халқының ертегілері мен аңыздарында да Таусоғар осындай қабілеттерге ие персонаж. Алып күш иесі болып

саналатын Таусоғар бойына берген алып табиғи күштің арқасында елге пайдасы тисе, оның аңғалдығы өзіне жау болып келеді. Жақсылық пен жамандық категориялары қазақ халқының мифо-поэтикалық эпостарында алмасып, қатар жүреді. Себебі, өмір заңдылығы сондай. Өмір тәжірибесінен алынған хикаяттарды бабалар жырмен жырлай отырып, ұрпағының құлағына жеткізуге тырысқан. Табиғат тыныштығы дүниеге батыр адам (мәдени кейіпкер) келгенге дейін, табиғатпен жарасқан қаһарман оны ретке келтіріп, үйлесімді ете алады.

Қазақ халқының көшпелі өркениеттік өмір салты ақындар мен жыраулар ауызекі тілмен ұрпаққа жеткізе алатын мәдениетті түзді. Қазақ халқының номадтық мәдениетінің өзге ұлттардың мәдениетінен ерекшелігі олардың ойлау деңгейінің ауызша дискурсивтік сипатта, ақылға қонымды түрде дамыды. О.А. Сегізбаев атап өткендей, "ауыздан-ауызға, ұрпақтан-ұрпаққа берілетін мәдениет көшпелі халықтар үшін орасан зор маңызға ие болды. Қазақ халқының мәдениетінің ауызша формалары — мифтер, айтыстар, эпостар, ертегілер, мақал-мәтелдер, фразеологизмдер - ерекше тарихи құбылыс, ал ризашылықпен есте сақтау халық ақындары, жырау, риторика шеберлері болып саналатын би-шешендердің ролі маңызды орын алады. Олар ұрпақтан-ұрпаққа әлемді сезіну тәсілі мен құндылықтық бағдарлары жинақталған тарихи тәжірибені жеткізді" [2, 64 с.].

Қазақ халқының дүниені, қоршаған ортаны қабылдау феномені символдық жүйеде де жалғасын тапты. Келер ұрпаққа оны символдар арқылы немесе белгілі бір белгілер арқылы қалдырып отырды. Мәселен, Қайта өрлеу заманында өмір сүрген белгілі суретші, өнертапқыш Леонардо да Винчи өзінің барлық дерлік картиналарында белгі қалдырып отырған екен. Ол қазіргі күнде «Да Винчи коды» («Код да Винчи») деген атаумен дүйім жұртқа мәлім. Алайда бұл кодтың мәні мен семантикалық маңызының түбірі әлі күнге дейін терең жұмбақ болып отыр. Майталман мәдениеттанушылар мен өнертанушылар, философтар мен тарихшылар, тіпті психологтардың әлі толыққанды аша алмаған сұрақтар әлемі. Бұл символдық код мәдени жәдігерлердің мәдени-философиялық мәнін жыл өткен сайын ат түсуде. Сол секілді қазақ халқының да мәдени дәстүрінде сыры ашылмаған көптеген жәдігерлердің, белгілердің бары анық. Мәселен, соның бірегейі — оюлар әлемі. Қазақ ою-өрнектерінің символдық мәні мен семантикалық ерекшеліктері жеке зерттеуді талап ететін тақырып аясы болып саналады. Біз бұл зерттеу еңбегімізде қазақ халқының кез келген дәстүрлік мерекесі ою-өрнексіз атқарылмайтындығы мәселесі. Ою-өрнексіз атқарылатын бір ғана шара бар, ол — қайтыс болған адамды жерлеу рәсімінде. Оның өзінде қайтыс болған адамның жас ерекшелігіне байланысты қолданысқа енетін кезі де болады. Ұзақ жасаған адам қайтыс болса, қазақ халқы «Адам адамды сыйласа — ас береді, құдай адамды сыйласа — жас береді» деп, жаназаға келген қариялар мен құдаларына оюлы шапан жапқан екен. Бұл да үрдіске айналып кетті. Мұның барлығын ұрпаққа түсіндірудің бір жолы — символдық арқылы кескіндеу екендігін дала халқы дала заңдарынан алған үрдістер еді. Осылайша, кез келген зат немесе нәрсе, барынша жоғары шынайылықтың (реалдылықтың) көрсеткіші ретінде осы шынайылықты символдай алады.

Қазақ қоғамындағы салт-дәстүрлердің тәрбиелік мәні өте терең. Бірсыдырғы етіп ойға түскенін топшалап кете беру ғылыми еңбектің концепциясын төмендетеді. Сондықтан біз салт-дәстүрлердің уақыт белдеуіне қарай да (адамның өмірге келгенінен бастап, бақилық болғанға дейінгі кезеңдер) өрбіп отыратынына қарап, аса мән бергеніміз жөн. Қазақ халқының салт-дәстүрлерін бірнеше топтарға бөліп қарастыруға болады. Олар:

- Үйлену, отау құру тойларында жасалатын салт-дәстүрлер;
- Сәби дүниеге келгенде атқарылатын салт-дәстүрлер;
- Бақилық болғанда жасалатын дәстүрлер.

Одан әрі қарай салт-дәстүрлер өмір ыңғайына лайықталып та бөлек қарастырылған. Мәселен, *«Бала тәрбиесіне байланысты салт-дәстүрлер»*, *«Тұрмыс-салт дәстүрлері»*,

«Әлеуметтік-мәдени салт-дәстүрлер». Бұл үш тармақ ешқашан бөлек-бөлек орындалмайды, комплексті түрде атқарылады.

Қазақ халқы бала тәрбиесінде де қатаң түрде салт-дәстүрлерге сай әрекеттер жасауға ұмтылған. Бала дүниеге келгеннен бастап саналы жасқа жеткенге дейін, тіпті қарттық жасына жетіп, бақиға аттануы жағдайларының бәрінде де белгілі бір жөн-жоралғылар тек қана салт-дәстүрлерге сүйене отырылып атқарылатын болған. Мұндай сәттерде үлкендер әрдайым жастардың тірліктеріне көз қырын салып, қадағалап отырған. Мұны біз о бастан аралық бақылау әдісінің өмірлік тәжірибеде бұрыннан қолданысында болғандығын аңғарамыз. Бұл орайда ер балаға өзіндік салттық ғұрыптар орындалса, қыз балаға да жынысына сай ғұрыптар салттық нормада күнделікті тәрбиеде қолданылып отырды. Қыз балаға жат жұрттық деп қараған қазақ халқы бойына ырым-жоралғылармен қатар, дәстүрлі салттарды да баулып өсірген. Ал ер балаға қамшы ұстатып, өз жынысына сай әрекеттерге ұмтылуын аса қатты қадағалаған. Мал бағуда да баланың мінезіне қарай орайластырып отырған. Мәселен, мінезі жуас, момын балаға жылқы бақтырып, керісінше мінезі адуын, эмоцияға басым ашуланғыш, бұлқан-талқан балаға қой баққызған. Сол арқылы баланың бойындағы мінезінің кемшіліктерін табиғи түрде реттеп отырған. Сырттай баланың мінезін қариялар қатты бақылаған. Тарихи деректерге жүгінсек, отыз ұлы болған Абылай хан да өзінің мұрагері әрі тақ егесі ретінде балаларының тәрбиесіне, ұстанымына қарай Қасым ханды тоғыз жасында-ақ тақ мұрагері ретінде көре білген деген ақпаратты Ілияс Есенберлиннің «Көшпенділер» еңбегін тоқи отырып, таңғалуға болады.

Қазақ халқының өмір салтын дала педагогикасы деп те атауға болады. Халық ауыз әдебиетінде ең алғаш пайда болған, өлең-жырлар, әңгімелер, қиссалар, ертегілер бала тәрбиесіне арналып өрілген. Ежелгі қазақ мәдениетіндегі бала тәрбиесінде бұзылмас императив ретінде қалыптасып қалған сегіз түрлі басты ұстанымдарды негіз ретінде көрсетуге болады. Олар:

- Біріншіден, «хат білмесең де - әдепті бол» ұстанымы. Тәрбие бастауы әуелі әдептіліктен басталады деп үйрету.
- Екіншіден, мейірімді болуға тәрбиелеу.
- Үшіншіден, «тіл алғыш елгезек бол» деп, еңбекке баулуды жастайынан бойына сіңіруге ұмтылғандығы.
- Төртіншіден, адалдық пен шыншылдыққа баулу бала жастан берілетін қасиет болғандығы.
- Бесіншіден, білгір бол. Ұстаз бен ғалымның, тіпті көрінген данышпан қарияның сөзін тыңдап, ақпа құлақ болмай, құйма құлақ бол дегенді бойына сіңіре білу.
- Алтыншыдан, «Үлкенге – құрмет, кішіге – ізет». Ата-анаға, бауыр мен туысқа деген ізеттілікке баулу.
- Жетіншіден, «Кісі айыбын бетіне баспа» дейді халық даналығы. Кембағалға күлме (мұрны пұшық, көзі қисық, аяғы ақсақ, көзі соқыр, т.б.), кісі кемтарлығын шұқып көрсетпеу.
- Сегізіншіден, «Ел қорғаны бол» халқына адал қызмет етуді парызың деп бойына сіңіруге тырысқан [3, 7 б.].

Т. Әсемқұловтың сипаттамасына сәйкес, ата-аналар күзгі уақытта 4 жасында ұлын ұстаға алып келіп, рәсім үшін желді күнді таңдаған екен. Ұста - дархан (ұста) қонақтарды құрметті орынға отырғызып, жылан терісіне ұқсайтын киім киіп, ұстадағы отты үрлеп, темір соғып тұрған. Бұл ретте ұста нағыз немесе бутафорлы сауытқа (сауыт-сайман), қаруға (қару-жарақ) немесе бастамашыға қаратып бұрылады. Бала екі рет темір ұстасының аяқтарының арасынан өтуі керек болатын үрдіс болған екен. Бірінші рет балаға сауыт кигізілгеннен кейін, екінші рет қару-жарақ табысталады. "Содан кейін ұста алақандарын оттың үстінде ұстап, одан кейін оттың буын баланың бетіне үйкеп ырымдаған екен. Ырым осылай аяқталған екен.

Кейбір жағдайларда мұндай ғұрыптан кейін кейбір балаға есім де берілген екен» [4, с. 146]. Дәстүр бойынша, қазақтардың ұсталық кәсібі "шамандық" дүниетаныммен де ерекшеленеді, "ұсталар мен зергерлердің ғажайып күші туралы түсінік болған", ұстаның күші ұстада бірнеше есе артады деп сенген [4, с. 215 – 216.].

А.Лосев мифті ең жоғарғы шындық деп анықтады, ал Ф. Ницше былай деп жазды: "Мифсіз кез-келген мәдениет өзінің табиғи күшінің сау шығармашылық сипатын жоғалтады: мифтермен оқшауланған көкжиек қана бүкіл мәдени қозғалысты белгілі бір толық тұтастыққа жабады".

О. Фрейденбергтің пікірінше, белгілі бір мәдениеттің мифі - бұл мәдениеттің негізгі мағыналарын беретін метафоралар жүйесі: Алғашқы бастама, Болмыс, Уақыт, Өлім [4, 5 с.]. Қазақ халқының кез келген жөн-жоралғы, наным-сенімдері, ырымдарының барлығының практикалық көрінісі оның ұлттық салт-дәстүрлерінде көрініс табады. Ал ұлттық дәстүрлерде қалай пайда болған деген сауал туындайтыны ақиқат. Бұл сұраққа біз қайтадан сонау номадтық тұрмыс кешу үрдісіндегі тұрмыстық наным-сенімдерге үңілеміз. О.Фрейденберг анық көрсеткеніндей, ең алғашқы бастама, ол – наным-сенімдері мен ырымдарға толы салт-дәстүрлері. Оның барлығы да ұлттық мәдениеттің қалыптасуының түп өзегі болып саналады.

Қазақстан ғылымындағы мәдениеттану саласы бойынша профессор Тұрсын Ғабитов қазақ философиясының ерекшеліктері, қазақ философиясының қалыптасуы, қазақ философиясының дәстүрлілігі мен жаңашылдығы және ағартушылық философия деп өзінше қарастырады [5, 9 б.]. Қазақ философиясының дәстүршілдігі мен жаңашылдығы мәселесі тікелей қазақтың салт-дәстүрлерімен орайласып жүріп қатар атқарылатын үрдістер жиынтығы болып саналады.

Қазақ мәдениетіндегі ерекше орынды оның мифологиялық таным формасы екендігіне назар аудартқымыз келеді. Жас нәресте дүниеге келіп, оның бойында есте сақтау, ойлау қабілеттері дами бастаған кезден-ақ қазақ халқы өзінің байырғы салт санасына негізделген аңыз-әңгімелері мен ертегілерін бойына сіңіре бастайды. Баланың жас категориясы жоғарылаған сайын қабылдау ақпараттарын тарих саласына, яғни шыққан жерін, шежіресін үйретіп, одан кейін қазақ тарихын санасына құя бастаған. Балаға халықтың мәдениетінің өзегі болып саналатын аңыздарды көбіне жасы үлкен, көпті көріп қана қоймай, жадында түйгені мол ақсақалдар мен әжелер институты жіті қадағалап отырған. Соның бірі Көк-Бөрі жайындағы аңыз болып табылады. Бүкіл түркі жұртына ортақ болып келетін Көк-бөрі атрибутикасы өте терең мағынаға ие. Бөрі тотемінің маңыздылығы қыз алу дәстүрінде де қолданыста болғандығы жөнінде қазіргі заманауи қоғам ұмытқан. Мәселен, барымта малға барғанда, қыздың келісімінсіз көрші ауылдан қыз алып қашқан кездерде ер адамдар бастарына бөрі терісін жамылып барған деседі [6, 228 б.]. Ежелгі Қытай елінің көне аңыздарында Күн Тәңірі мен Көк-Бөрі айқасқанда Күн бөріні жұтып, ал бөрі болса Күнді қақ жарып еркіндікке шыққан екен де аңыз тарайды. Көптеген Шығыс халықтарының дәстүрлік танымында Көкбөріге қатысты аңыздар жетерлік.

Қазақ мәдениетіндегі негізгі постулаттардың бірі – белгілер философиясы. А.Ф.Лосевтің тұжырымдауынша, символдар жайындағы ілімнің орталық түсінігі, ол – белгілер болып саналады. Белгілеу элементінсіз символдың болуы да мүмкін емес. Ал Ю.Б.Боревтің анықтауы бойынша, «белгі – ол кодталған ақпараттарды бойына сіңірген жүйе. Ол белгі заттардың бойында бола ма, әлде табиғаттың тылсым күштерімен келе ме оны адам санасымен анықтау факторлары өте терең пайым мен зердені талап ететін категория» [7, 15 с.]. Ол тек сезімге ғана берілетін мәдени код екендігін аңғартып тұр. Жүректен шыққан сезімдік хәлдерден өнер жанрының пайда болғандығын білеміз.

К.Г.Юнг белгі мен символдың дұрыс қойылған дифференциясына қатты назар аударады. Оның пікірінше, символ түсінігінің белгі түсінігінен семиотикалық символикалық айырмасы өзгеше болып саналады. Мәселен, жер мен одан өніп шығатын дәнді



салыстыратын болсақ, бір уыс дән – ол, белгі болып саналады да, ал дәннің символы – жер болып шығады. Сондықтан болар қазақ халқында тек қана жер, қара жер түсініктері аналық образда сипатталады да, дүниетанымға байланысты басқа негізгі атаулар аталық сипатта жүреді. Мәселен, «Атақоныс», «Атамекен», «Әке – асқар тау» негізгі белгілер болса, «Ана – Жер Ана» символдық мәнге ие болып шығады. Символдың белгі бойындағы мағынасы өшкен сәтте символ да өзіндік қасиеттерін жоғалтады. Бұл көне Қытай философиясындағы Инь және Ян позициялары секілді атқарылатын матрицалық дөңгелек іспетті өмірлік қозғалысты құрайды. Ақ пен қараның дүние дөңгелек бойында орын алмастырып отыруы, ыстық пен суықтың қатар келуі, қараңғылық пен жарықтың астасуы, Күн мен Түннің алма-кезек күн бойына ауысып отыруының бәрі де табиғи заңдылықтарға негізделген символдық атрибуциялар. Мұны жалпы алғанда философия ілімі даму заңдылықтары деп атайды. Міне, осы даму заңдылықтарының өзгеріске ұшырауы немесе ол заңдылықтардың өзгеріске енуіне себепші болған тайпалардың символдық белгілері тіпті басқаша болса онда өзгеріске ұшырап отырған тайпаның символдық белгілерінің күші хаосқа ене бастайды да, өзін-өзі жою туралы жарияланым жариясыз өзінен өзі іске қосыла түседі де халық бодандық хәліне енеді. Сондықтан кез келген мәдениеттердің салт-дәстүрлерін қарастырғанда сол халықтың даму тарихындағы символдық ерекшеліктері мен жадтық белгілеріне баса назар аударудың маңыздылығы осында болып табылады.

Мәдениеттану саласында арнайы семиотика деген ілім бар. Семиотика (гректің semeion – белгі) – белгілерді зерттейтін ілім саласы. А.А.Реформатский мынадай анықтама береді: «семиотика – белгілер жайындағы жалпы теориялар жайындағы ғылым. Ол белгілік жүйелерін зерттеуді нақтылауда және анықтаудағы басты құрал», - дей келе, телеграф кодтары, ауа қатынастары мен су асты қатынастарының байланысы, жүргіншілер мен жеңіл көліктер арасындағы сөзсіз ұғымдарды ұғынуға себепші болатын белгілерге дейін қамтитын ақпараттық базаға бай сала екендігін аңғартуға ұмтылыстар жасайды [8, 17 с.].

Қазақ халқында *шаңырақ* сөзіне байланысты фразеологизмдер жетерлік:

- *Шаңырағың биік болсын!* – жас отбасының шаңырақ көтеруінде айтылатын негізгі тілек.
- *Шаңырақ көтерді* – отбасын құрып, отағасы болды, есейді;
- *Шаңырағы ортасына түсті* – үйінің берекесі кетіп, бақытсыздық орнауы бірінші мағынасы болса, екінші мағынасы сөйлемнің тікелей мағынасын береді. Яғни, құрған шаңырағы сапасыз болғандықтан сынып, ортасына түсіпті.
- *Құлаған шаңырағын қайта көтерді* – қайтадан отбасын құрып, үйленді [9, 38 с.].

Қазақ мәдениетіндегі киіз үй құрылысының негізгі атрибуты, ол – шаңырақ. Шаңырақ толық мәнге ие сөз саптау болып табылса да, оның семантикалық күші шаңырақтың бақандарында болып саналады. Бақан семантикасы – мәдени-философиялық категория. Маньчжур тілінен тікелей аударғанда *бақан* сөзі «киіз үйді ұстайтын алты баған» болады екен. Орталық Азиядағы түркітілдес халықтарда да бақан киіз үйдің жоғары бетіндегі дөңгелек шаңырақ іспетті форманы тіреп тұратын тіреуіштерді бақан деген. Қазақ киіз үйінде *сырық* деп аталатын шаңырақты қатты жел мен бораннан сақтайтын, үйдің жылуы мен жазғы аптап шілдеде салқын ауаны қамтамасыз етіп тұратын киізден жасалынған қаптырманы *сырық* десе, есіктің алдына *түндік* жапқан. Бақан түсінігінің практикалық қолданысы сан алуан болып келеді. *Бақан* бала босанар кезде де белгілі бір дәстүрлерді орындар кезде қолданылған: онымен екіқабат келіншектің бала босанатын орнына белгі қойған. Қазақ және қарақалпақ ұлттарында бақан киіз үйге кіре беріс жақтан оң жақ бөлігіне қойылған екен. Бақаннан керегеге дейін босанар әйелдің қолтықтастынан демеу болып тұратындай етіп өткізілген ат жалынан жасалынған мықты арқан байланған. Осы конструкция босанатын келіншектің сынағын жеңілдетуге септігін тигізген екен. Аналардың жебеушісі Ұмай анаға тәу ете отырып, дәстүр өз жалғасын таба білген.

Ежелгі түркі мифологиясында Ұмай ана өмірді туындатушы, бесіктің жебеушісі мен қорғаны, нәрестелердің жебеушісі және махаббат рәмізі ретінде де көрініс береді. Сондықтан болар, табалдырық аттаған жас келінге енесі жаңа шаңырақтың босағасын оң аяғымен аттатып, отқа май құйдыру рәсімін жасап тұрған сәтте «менің қолым емес, аналардың қолы», «менің қолым емес, Ұмай ананың қолы жебесін» деген секілді киелі деп тұтқан ежелгі тарихта болған аналардың есімдерін атап салт-дәстүрлерді атқаратын болған.

Ертеректе түркі халықтары дүниетанымының мәдени ареалында Ұмай Ана (Май - Ана) культі өте жоғары мистикалық мәнге ие болған. Шамасы, Орта Азия мен Сібірдің түркі тілдес халықтарының кең ауқымындағы тайпалық рәсімдерде бақанды қолдану онғың практикалық мақсатынан басқа оның Ұмай Ана образына табынуымен байланысты орын алған секілді. Күніне жетіп туылмаған жас нәрестені қазақ және қарақалпақ халықтарының дәстүрлерінде белгілі бір уақыт мөлшерінде атасының немесе бабасының бас киімінің (ақ қалпақ немесе тымақ) ішіне жатқызған екен. «Бақан» семантикасы еркектік бастамадан орын алатын, алты бағанды ағаштан жасалған құрылғы. Әр түрлі халықтардың фонетикалық нұсқаларындағы бақан түсінігі (қазақ, қарақалпақ, өзбек, қырғызда – бақан; тувин, монғол, якуттарда – багана.) түркі-монғол көшпелі мәдениетінің бәрінде кездесетін дәстүрлі семантикалық мәнге ие мәдени контент. Бақан – алты бағанға негізделеді. Алты баған қорғандық мәннің негізін беретін түсінік [10, 38 б.].

Ежелгі түркілердің мифологиялық көне түсінігі бойынша да жақсылық жаршысы – Аспан шамшырағы, *Күн бейнелі Ұмай Ана*. Сондықтан да қазақ елі жаңа түскен жас келінді табалдырықтан оң аяғымен аттата сала, «От ана!, Май Ана!, Жарылқа! Жарылқа!», - деп отқа май құйдырады. Осы ізгі ниетті ақ тілеудегі «От - Ана» - қазақтардың мифологиялық кейіпкері Үт бикеш те, ал «Май-анамыз» - Ұмай Ана. Ата-бабаларымыздың түсінігінде, «Күн», «Ана», «Құт - береке», «Молшылық», «Мейірім» - барлығының да мағынасы бір ұғымға келіп тірелетіндіктен, қыз бен жігіт тартысында Жаңа Жылдың, Қасиетті күннің құрметіне қыз баланың жеңгенін құрыс көрген. Себебі, оның астарында қыз бала - молшылықтың семантикалық атрибуты.

Кезінде адамды рухани-адамгершілік тәрбиелеуде үлкен рөлді ауыл адамдары атқарған. Қазақта «қызға қырық үйден тыйым» деген мақал бар. Оның мағынасы қызды ауыл адамдары болсын, ағайын-тума болып біріге отырып, рухани адамгершілікке тәрбиелеуде әрбір адам бұл жауапкершілікті жете сезіне де түсіне білген, жауапкершілігін ұққан. Қазіргі заманда осы тамаша үрдіс ұмытыла бастады. Қызды тәрбиелеу тек бір отбасының ғана еншісіне айналуға, ал, кейде, қазіргі тым өзгергіш дүниеде ол қыздың өз ісі ғана болып отыр, - деп қазақтың бұрыннан келе жатқан, қалыпты болып келген тәрбиелік үрдісінің қазіргі заманда өзім білемге келіп тірелгендігіне қатты қынжылыспен пікірін білдіреді философия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі Әбдімәлік Нысанбаев [11, 10 б.].

Қазақ салт-дәстүрлерінің мифологиялық астарларының мәдени жадын қарастырғанда жалпы иісі мұсылман жұртына ортақ «Наурыз» мерекесін де салт-дәстүрлердің негізгі өңі ашылатын мереке, жыл басы ретінде атап кету маңызды демекпіз. Мәдени сұхбаттың ежелден келе жатқан көрінісі – мұсылман халықтарында кең тараған Наурыз мерекесі. Наурыз мерекесін қарақалпақ «Ұлыстың Ұлы күні» деп атайды. Бұл мейрам күн жылынғанда, Көктем мезгілінде күн мен түн теңеліп, жер иіп, мал-жанның жадырайтын шағында өтеді. Наурыз сөзі парсы тілінде «Рузи-нау» - «Жаңа күн» деген мағынаны білдіреді. Бұл ежелде жаңарған табиғи мейрам болса керек. Наурыз зороастризмдік жеті мейрамның ішіндегі ең маңыздысы. Зороастризм эсхатологиясына сәйкес наурыз күні әлемде әділеттілік, жақсылық орнап, зұлымдық біткен жойылады. Ол мәңгілік өмірдің алғашқы күні. Күннің, жарықтың, нұрдың ұзарып, түннің қысқаруы, жақсылықтың жамандықты жеңіп, салтанат құруын рәміздейді. Наурызды осындай Заратуштралық тұрғыдан түсіну қазақ халқында сақталған, өйткені, бұл шақ жамандықты жақсылық жеңген, өткен жыл кетіп, жаңа жыл енген шақ.

Наурыз келген уақыт – әлемнің табиғаттың жаңаруы, жандану күні. Наурыз мерекесі тұнып тұрған дәстүрлерге негізделген. Қазіргі уақытта бұл мерекені Өзбекстан елі 21 – ші наурыз күніне белгілесе, Қазақстан Республикасы Наурыз мерекесін ресми түрде тойлау күні етіп 22 – ші наурыз күнін белгіленген болатын. Алайда бұл ай дәстүрлі түрде тола рәсімдерден құралған ай. Наурыз айы келе салысымен қазақтар амал күні деп атап, жылға алғысын айтып, өзін қоршаған адамдарға алғыс айтумен жылды қарсы алады. Наурызды қалай өткерсең бір жылың сондай сипатқа ие болады деген түсінік қалыптасқан. Сондықтан, тұма-туыстарды, ағайын-жұрттар, дос-жарандарын барынша аралап, бірінші болып құттықтауға асыққан бұл дәстүр қазіргі күнде Қазақстанның бүкіл аймақтарында орындала бермейтіндігі де бар. Амал мерекесін өз деңгейінде ескі дәстүрлерді сақтай отырып, қарсы алатын аймақтардың бірегейі деп бүгінгі күнде Маңғыстау өлкесін мысалға келтірсек қателеспейміз.

Аузы дуалы ақсақал қариялар мен ел басқарып әділдігі мен көрегендігімен ерекше көзге ілескен көсемдер Наурыз мейрамы үстінде ұрпақтары ұмытпай айта жүретін аталы сөзді естігі келіп, балалы сөзді жадында сақтағысы келіп, ұлағатты бір сөз болса да артына қалдыратын дәстүр болған екен. Бір күн ойланып, ойлы сөз таппаған адамды көптің алдында айыптап, тіптен ағынды өзенге лақтырған сәттер де болған екен [12, 26 б.]. Осындай сынға ұшырап, қанша ойланса да жүйелі бір сөз айта алмаған бір батыр суға лақтырылар тұсында аузынан «Көп қорқытады, терең батырады» деген сөз шығып, жазадан аман қалыпты-мыс деген ел аузында әңгіме тарқап кеткен. Сөздің құдіреттілігінің күші осындай терең мәнге ие екендігін ұрпаққа жеткізуге ұмтылған.

Наурыз күні ерекше қасиетті күн ретінде саналған. Ол жөнінде төмендегі Наурыз жырынан да аңғарамыз:

Шалдар бата беріскен,  
Сақтай гөр деп терістен.  
Кел, тазарайық, кел, десіп,  
Ем, тілек бер десіп,  
Көш, Қайрақан, көш десіп,  
Көз көрместей өштесіп, -

деп «Наурыз жырында» айтылмақшы, ата-бабаларымыз Ұлыс күнін түрлі-түрлі нысаналы мақсаттарға да пайдалана білген.

Зороастризмдік рәсім-рәміздер орталық Азия мен Қазақстанда ислам дінінің таралуы барысында оның әдет-ғұрыптарымен сіңісіп кетті. Ислам ескі әдет-ғұрыптарды қабылдайды. Сөйтіп, олар жаңа идеология тұрғысынан қайта өңделді. Ескі діни әдет-ғұрыптарының исламның рәсімдер жүйесіне ену тұрғылықты халықтардың исламды қабылдап, оның бұл аймақта жылдам қарқынмен таралуына ықпал етті.

Жоғарыда айтылғандарды жинақтай келе, төмендегідей тұжырымдар жасауға болады. Заратуштраға дейінгі наным-сенімдер табиғат объектілері мен құбылыстарына табыну сипатындағы жетілген политеизм болып табылады. Сонымен қатар, осы уақыттарда адамдық қасиеттерді білдіретін құдайлар тобы қалыптасып, басқалардан жіктеле бастайды. Олардың ішінде батылдық пен адалдықтың, келісім мен әділеттіліктің, кепілі болып табылатын Митра ерекше дараланды. Халықтық наным-сенімдерде от мен суға табыну маңызды орын алады [12, 318 б.]. Қазақ халқының мәдени дүниетанымында о бастан суға байланысты және отқа байланысты ерекше мифологиялық-мистикалық дүниетанымға негізделген дүниетанымдық қатынастар халықтың өн бойында ол мифологиялық сенімнің жұрнағы мәңгілік салт-дәстүрлерінде орын алып, қалыптасты. Кез келген отбасылық рәсімдерде от мен судың орын алуының негізі осындай мәдени-дүниетанымдық контексттерде екендігін ашық айтқымыз келеді. Мәселен, қазақ отбасы жас келін түсіргендегі атқарылатын басты салт, ол – жас келінге босағаны оң аяғымен аттатып, отқа май құю рәсімі болып табылады. Бұл салт дәстүрлі түрде аймақтық бөлініске тәуелсіз түрде

барлық өңірлерде атқарылатын үрдіс. Отың өшпесін, сол үйдің отын ары қарай тұтатып отыратын ұрпақтар жалғастығы үндестік табуда деп бабаларға тағзым жасаудың архаикалық түрі.

Қорыта келе айтарымыз, кеңестік идеология заманында қазақ мәдениетінің қалыптасуы мен дамуы, адам өміріндегі маңызы мен оның баланың қалыптасуындағы тәрбиелік мәні жайында айтпақ түгілі қазақша ойлау, қазақ қауымының дүниетанымы деген дүниелер ұлтшылдықтың айнасы деп қарастырылды. Қазақ мәдениетінің бастауы халықтық дүниетанымнан қаузайтыны белгілі. халықтық дүниетанымның архетиптері номадтық дүниетанымға, дала философиясының мәдени жадтарына сүйенеді. Кез келген мәдени жүйелік халықтың салт-дәстүрлері мистикалық астарларға сүйенбей атқарылмағандығы жөнінде бұл бөлімде көз жеткізуге ұмтылды. Егер белгілі бір салт-жоралғы дәстүрге сәйкес жасалынбай қалған болатын болса адам өмірінде кездескен әртүрлі кедергілер мен қиыншылықтардың себептерін уақытында дұрыс атқарылмаған, не болмаса тіпті атап өтілмеген дәстүрлерге деген қиянаттың салдарынан деп ұғынып, орнын дереу толтыруға әрекеттер жасағандарын аңғарамыз. Қазақ халқы үшін салт-дәстүрлердің мистикалық маңызы өте тереңде жатқандығын мойындауымыз қажет.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Серікқалиев З. Дүниетану даналығы. Алматы, 1994. – 88 б.
2. Сегизбаев О.А. Казахская философия XV – начала XX века. – Алматы: Казахстан, 1996. – 472 б.
3. Тауұлы Ә. Қазақ салт-дәстүрлері. Алматы: «Балауса баспасы», 2017. – 384 б.
4. Наурзбаева З. Вечное небо казахов: Зира Наурзбаева – Алматы: «ОТУКЕН» 2021. – 720 с.
5. Тохтабаева Ш.Ж. Серебряный путь казахских мастеров. Алматы: Дайк-Пресс, 2005. – 471 с.
6. Ғарифолла Есім. Қазақ философиясының тарихы: Оқулық. – Алматы: Қазақ университеті, 2006. – 216 б.
7. Ж.Ш.Жұмагелдин, Ж.Ж.Жарылғапов, Ж.Қ.Смағұлов. // Тотемдік наным-сенімдер және әдебиеттегі анималистік образдар. Қарағанды университетінің хабаршысы. Филология сериясы. Том 30. №3 (119), 2025.
8. Боров Ю.Б. Эстетика. М.: Политиздат, 1988. – 185 с.
9. А.А.Реформатский. Введение в языковедение. М.: Аспект пресс, 1996. – 536 с.
10. Шаханова Н.Ж. Символика традиционной казахской культуры: Учебное пособие. Алматы: Қазақ университеті, 2004 – 232 с.
11. Нысанбаев А. Глобализация м проблемы межкультурного диалога в 2-х томах. Алматы: Компьютерно-издательский центр Института философии и политологии МОН Республики Казахстан, 2004. – Том 2. – 308 с.
12. Қазақтың әдет-ғұрыптары мен салт-дәстүрлері: өткендегісі және бүгіні. Мақалалар жинағы. – Алматы: «Ғылым» ғылыми баспа орталығы, 2001. – 428 б.

## **Biological Sciences**

# Ultra-Rare and Hyper-Rare Genetic Diseases at the Edge of Discovery: Molecular Mechanisms, Epidemiology, Genomic Architecture, and Translational Challenges

**David Aphkhazava**

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-64>

**Maia Nozadze**

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Levan Gulua**

PhD, Professor, Head of bachelor program of Biomedicine at University of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Mzia Tsiklauri**

PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr.Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the Georgian Immunologists Association, Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia

**Manana Makharadze**

Prof. David Agmashenebeli University of Georgia, Tbilisi, Georgia.

**Maia Berodze**

Assistant Professor at Caucasus International University, Tbilisi, Georgia

**Nodar Sulashvili**

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sul Khan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia. Associate Professor of Pharmacology of Faculty Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>.

**Giorgi Margvelani**

Prof. European University, Tbilisi, Georgia.

**Tamuna Samadashvili**

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Nino Maziashvili**

Associate Professor, University of Georgia, Tamar Gagoshidze Neuropsychology Center, Tbilisi, Georgia

**Lolita Shengelia**

PhD, Invited lecturer of Georgian National University, Tbilisi, Georgia; Invited lecturer of Georgian American University, Tbilisi, Georgia

**Ridhwan Yoonus**

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Anupreet Kamble**

Alte University, Tbilisi, Georgia

**George Maglakelidze**

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

**Ilia Atanelishvili**

Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

Corresponding Author: Prof. David Aphkhazava

**Abstract**

Ultra-rare and hyper-rare diseases occupy the least populated yet most intellectually revealing frontier of human pathology. Although each individual condition affects only a handful of patients, these disorders expose indispensable biological pathways with a degree of mechanistic resolution that is often unattainable in common multifactorial disease. Current epidemiologic analyses indicate that rare diseases as a whole affect 3.5–5.9% of the global population and are predominantly genetic and frequently pediatric in onset, while conceptual work suggests that ultra-rare and hyper-rare entities likely outnumber the better characterized orphan conditions now catalogued. In this review-style opening section, we frame the field through representative disorders that illuminate distinct pathogenic logics. NGLY1 deficiency demonstrates how failure of cytosolic deglycosylation and endoplasmic reticulum-associated protein quality control disrupts neurodevelopment, growth, hepatic homeostasis, and systems-level proteostasis. MIRAGE syndrome, caused by gain-of-function SAMD9 variants, reveals an unusual biology in which primary growth repression is partially countered by somatic rescue mechanisms, including monosomy 7, secondary loss-of-function events, and revertant mosaicism. Fibrodysplasia ossificans progressiva illustrates the power of mechanism-led discovery, showing how activating ACVR1 variants reroute inflammatory and injury-responsive signaling toward progressive heterotopic ossification and developmental arthropathy. Across these examples, the major obstacles are not solely rarity but also ascertainment bias, diagnostic delay, incomplete natural-history capture, functional uncertainty of private variants, and the inadequacy of conventional trial paradigms for n-of-few populations. A modern framework for these diseases must integrate global registries, deep phenotyping, interoperable omics, variant-to-function pipelines, patient-derived experimental systems, and adaptive therapeutic strategies. Studied rigorously, ultra-rare diseases are not peripheral curiosities; they are compressed models of developmental biology, tissue repair, degeneration, and human genetic vulnerability (Nguengang Wakap et al., 2020).

**Keywords**

ultra-rare disease; hyper-rare disease; orphan disease; molecular mechanisms; epidemiology; genomic medicine; NGLY1 deficiency; MIRAGE syndrome; SAMD9; fibrodysplasia ossificans progressiva; ACVR1; proteostasis; somatic reversion; heterotopic ossification; precision medicine (Smith et al., 2022)



## Introduction

### 1. The paradox of rarity and collective burden

Rare diseases are commonly perceived as marginal because any single diagnosis may be encountered only once in a clinician's career. This intuition is misleading. Population-level analyses based on the Orphanet database indicate that rare diseases collectively affect approximately 3.5–5.9% of the global population, equivalent to hundreds of millions of individuals worldwide, and nearly 72% of these disorders are genetic in origin while close to 70% are exclusively pediatric in onset (Nguengang Wakap et al., 2020). Thus, the scientific challenge is not a lack of biological relevance but a failure of scale: the diseases are individually sparse, institutionally fragmented, and historically undercounted. For the most extreme entities—those that may affect only several families globally—the mismatch between biological significance and research visibility becomes even more severe. Conceptual analyses of rare-disease nosology suggest that ultra-rare disorders, frequently defined as affecting fewer than 1 in 50,000 individuals, represent only part of the long tail, and that an even larger universe of hyper-rare conditions may exist below the threshold of ordinary recognition (Smith et al., 2022). Such conditions are often absent from textbooks, poorly represented in registries, and invisible to trial infrastructures built for larger populations (Chung et al., 2022).

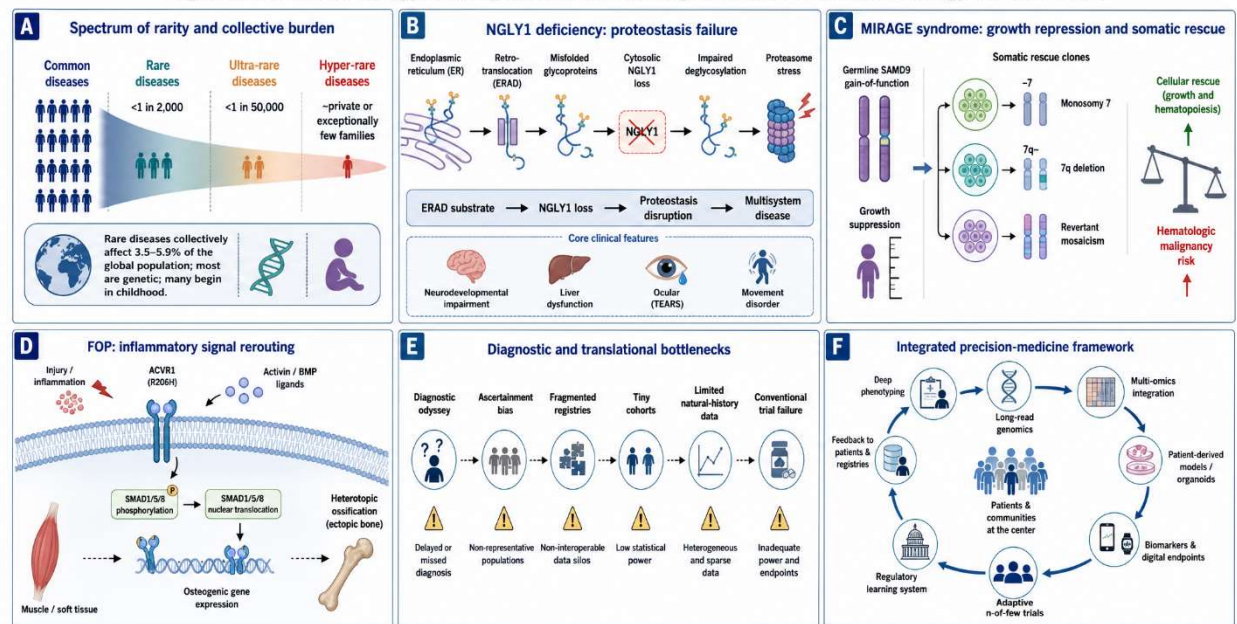
This paradox explains why ultra-rare diseases demand a different intellectual posture from conventional medical research. They cannot be approached only as low-incidence exceptions; they must be treated as high-information events. Rare genetic disorders function as a naturally occurring forward genetic screen in humans, revealing what becomes biologically indispensable when a single gene, pathway, or developmental program is perturbed with sufficient penetrance (Lee et al., 2020). In that sense, the value of an ultra-rare disease does not depend on case volume alone. A mechanistically sharp disorder can illuminate protein quality control, endosomal trafficking, morphogen signaling, tissue patterning, interferon biology, chromatin regulation, or mitochondrial homeostasis in ways that are disproportionately informative relative to the number of affected patients. The scientific problem is therefore dual: first, to find these patients despite extreme rarity and diagnostic drift; and second, to convert sparse observations into causal knowledge robust enough to inform biology, prognosis, and therapy. A high-impact review of the field must begin from this premise: rarity does not diminish significance. On the contrary, rarity often compresses pathobiology into its most experimentally legible form. It is precisely this compression that makes ultra-rare disease cohorts scientifically disproportionate to their size and uniquely valuable for causal inference in human biology (Lee et al., 2020) (Wright et al., 2018).

## 2. Defining the edge: rare, ultra-rare, and hyper-rare disease

Definitions matter because they determine whether a disorder becomes visible to regulators, industry, funding agencies, and international registries. In Europe, a rare disease is generally defined by a prevalence below 1 in 2,000, while United States policy uses an absolute case threshold. Yet for scientific strategy, these broad definitions are insufficient. Ultra-rare diseases have been variably defined, including thresholds below 1 in 50,000 or even below 1 in 2,000,000 depending on regulatory or genomic-medicine context, reflecting the absence of universal consensus but also the practical need to distinguish the extreme tail of disease occurrence from the larger orphan-disease category (Smith et al., 2022; Lee and Choi, 2016). More provocatively, Smith and colleagues proposed the term hyper-rare for disorders affecting fewer than 1 in 100 million individuals, arguing that the number of such entities may be vast and perhaps effectively innumerable because pathogenic combinations of private variants, *de novo* events, developmental contingencies, and environmental modifiers can produce phenotypes that are never repeated exactly in another individual (Smith et al., 2022) (Posey et al., 2019).

These categories are not merely semantic. They index different research realities. A disease with several thousand known patients may support longitudinal cohorts, biomarkers, and conventional therapeutic pipelines. A disease with fewer than 100 recognized patients globally confronts entirely different limitations: private or family-specific alleles, unstable phenotype definitions, and the inability to separate natural variation from disease-specific progression using standard biostatistical assumptions. At the hyper-rare extreme, one may encounter *n-of-one* or *n-of-family* medicine, where causal inference depends on convergent evidence from segregation, functional assays, model systems, and mechanistic plausibility rather than replication in large cohorts. This epistemic shift is central to understanding why some of the least investigated diseases remain outside the mainstream literature despite causing severe multisystem morbidity. It also clarifies why genomics has transformed the field. Before next-generation sequencing, many ultra-rare disorders were clinically recognized but molecularly unresolved, or conversely molecularly discoverable only after years of diagnostic wandering. Sequencing now permits disease definition from genotype outward, yet the success of this approach depends on deep phenotyping, curated databases, and international data sharing to determine whether a newly observed variant is a private curiosity or the first visible point in an emerging disease class (Lee and Choi, 2016). Therefore, the boundary between rare and ultra-rare disease is best understood not simply as a prevalence cutoff, but as a transition into a research ecosystem where every patient becomes both biologically informative and statistically precious. In practice, this means that disease definition, data sharing, and functional interpretation become inseparable components of the same scientific enterprise (Smith et al., 2022) (Kernohan et al., 2024).

**Figure 1 | Ultra-rare and hyper-rare genetic diseases as high-information models of biology and translation**



Ultra-rare diseases compress pathobiology into experimentally tractable signals, linking mechanism discovery to precision therapeutics.

**Figure 1. Ultra-rare and hyper-rare genetic diseases as high-information models of biology and translation.**

(A) The spectrum of rarity is shown from rare to ultra-rare and hyper-rare disorders, emphasizing the paradox that individually infrequent conditions collectively impose a substantial global burden and are predominantly genetic, often with childhood onset. (B) *NGLY1* deficiency illustrates failure of cytosolic deglycosylation and disrupted proteostasis, linking endoplasmic reticulum–associated degradation defects to multisystem disease manifestations. (C) MIRAGE syndrome, driven by pathogenic *SAMD9* activation, exemplifies growth repression together with somatic rescue mechanisms, including monosomy 7, 7q deletion, and revertant mosaicism, thereby highlighting the dynamic relationship between pathogenic mutation and clonal selection. (D) Fibrodysplasia ossificans progressiva (FOP) demonstrates inflammatory signal rerouting through mutant *ACVR1*, resulting in aberrant SMAD pathway activation and progressive heterotopic ossification. (E) Key translational bottlenecks are summarized, including diagnostic odyssey, ascertainment bias, fragmented registries, extremely small cohorts, incomplete natural-history data, and limitations of conventional trial designs. (F) An integrated precision-medicine framework is proposed in which deep phenotyping, long-read genomics, multi-omic profiling, patient-derived models, biomarker development, adaptive n-of-few trials, and regulatory learning systems function as an iterative discovery-to-therapy pipeline. Together, these features position ultra-rare diseases as experimentally powerful models that connect mechanistic insight to precision therapeutics.

### 3. Why the rarest disorders remain underinvestigated

The least investigated diseases are rarely ignored because they lack mechanistic interest; they are neglected because the infrastructure required to detect, classify, and study them remains unevenly distributed. Diagnostic delay is one of the first barriers. Many ultra-rare disorders present with nonspecific combinations of developmental delay, growth failure, dysautonomia, liver dysfunction, endocrinopathy, or skeletal abnormalities, phenotypes that can be misassigned to more familiar syndromes for years. *NGLY1* deficiency, for example, was historically misdiagnosed as cerebral palsy or an undefined neurodevelopmental syndrome until genomic testing and patient-led registry efforts clarified a recognizable constellation of alacrima, movement disorder, developmental impairment, and multisystem involvement (Enns et al., 2014; Stanclift et al., 2022). MIRAGE syndrome likewise illustrates the problem of fragmented recognition: neonatal adrenal insufficiency, severe growth restriction, enteropathy, infections,

genital anomalies, and later hematologic complications may be distributed across subspecialties rather than assembled into a unified diagnosis, particularly when somatic rescue events blur the genotype-phenotype relationship (Suntharalingham et al., 2022) (Bagger et al., 2024).

A second barrier is ascertainment bias. Published case counts often underestimate true frequency, sometimes dramatically. In NGLY1 deficiency, the largest registry-based analysis suggested that the condition may account for roughly 12 births annually in the United States, a figure that exceeds what earlier literature alone would have implied and strongly suggests underdiagnosis or underreporting (Stanclift et al., 2022). Similar distortions are likely common across ultra-rare diseases, especially in regions with limited access to exome or genome sequencing. Third, natural-history knowledge is shallow. When only isolated case reports exist, it is difficult to distinguish core features from age-dependent evolution, treatment effects, ascertainment artifacts, or survivorship bias. This is especially problematic for disorders in which late manifestations, regression, marrow evolution, or cumulative tissue damage emerge only after years of follow-up. Fourth, functional validation remains a major bottleneck. Many ultra-rare diseases are defined by missense variants, splice alterations, structural rearrangements, or mosaic states whose impact cannot be inferred reliably from sequence alone. Without patient-derived cells, animal models, or variant-to-function assays, pathogenicity remains provisional and therapeutic targeting speculative. Finally, commercial disincentives and trial infeasibility amplify the gap between diagnosis and treatment. A disorder may be molecularly solved yet remain therapeutically inert because there are too few patients, too few validated biomarkers, and too little coordinated longitudinal data to support drug development. Underinvestigation, therefore, is not a property of the disease alone; it is the cumulative outcome of diagnostic, geographic, technical, and economic asymmetry. The most neglected diseases are frequently those for which these asymmetries converge early, before the first coherent natural-history framework has even been established (Lee and Choi, 2016) (Kingsmore et al., 2024).

#### 4. Genetic architecture at the far end of rarity

Ultra-rare diseases often expose the full diversity of human mutational architecture with unusual clarity. Many arise through *de novo* pathogenic variants, especially gain-of-function or dominant-negative alleles in genes that are intolerant to loss of function or that participate in dosage-sensitive developmental circuits. MIRAGE syndrome is a prime example: heterozygous gain-of-function variants in *SAMD9*, typically *de novo*, produce a multisystem growth-restrictive phenotype rather than a simple haploinsufficient state, underscoring how pathogenic directionality can be more informative than gene identity alone (Narumi et al., 2016; Suntharalingham et al., 2022). Other disorders arise from autosomal recessive loss-of-function architectures enriched by founder effects, cryptic consanguinity, or stochastic pairing of rare alleles. *NGLY1* deficiency, caused by biallelic pathogenic variants in a cytosolic deglycosylation enzyme, illustrates how recessive disease can remain effectively invisible until sequencing infrastructures become broad enough to connect geographically dispersed families with similar phenotypes (Enns et al., 2014; Stanclift et al., 2022) (Chakravorty et al., 2017).

At the extreme end of rarity, the architecture becomes even more complex. Some disease states may depend on combinations of coding and noncoding variation, structural rearrangements, mosaic rescue, modifier alleles, epigenetic contingencies, or developmental timing. This helps explain why recurrence can be extraordinarily low even when the same pathway is repeatedly implicated. Hyper-rare disorders may therefore be less like discrete textbook entities and more like mechanistic families with partially overlapping phenotypic expression. In this setting, conventional notions of replication must be broadened. Replication may occur at the level of pathway disruption rather than identical mutation, or at the level of functional phenotype rather than syndrome label. Somatic evolution further complicates interpretation. In *SAMD9*-associated disease, the primary germline growth-restrictive variant may be partially counterselected through secondary genetic events such as monosomy 7, deletion 7q, acquired uniparental disomy, or second-site loss-of-function changes, producing a dynamic genomic landscape that changes across tissues and over time (Suntharalingham et al., 2022). Fibrodysplasia ossificans progressiva presents yet another architecture: a highly recurrent activating variant in *ACVR1* accounts for the overwhelming majority of classic cases, demonstrating that even an ultra-rare disease can have a remarkably focused mutational target when the pathogenic mechanism is exquisitely specific (Shore et al., 2006; GeneReviews, 2020). The lesson is that rarity does not imply genetic simplicity. Rather, the rarest disorders may force us to integrate inheritance mode, allelic mechanism, mosaicism, somatic selection, and systems-level context into a more refined model of causality than is usually required for common disease. Their architecture is often sparse in case count but dense in mechanistic information (Pejaver et al., 2022).

## 5. Molecular mechanisms: from proteostasis to morphogen miswiring

The most compelling reason to study underinvestigated ultra-rare diseases is that they uncover molecular mechanisms in unusually sharp relief. In some cases the disease results from direct collapse of a homeostatic pathway. NGLY1 deficiency, for instance, links biallelic loss of N-glycanase 1 to dysfunction of cytosolic deglycosylation and endoplasmic reticulum-associated degradation, thereby connecting abnormal protein quality control to neurodevelopmental impairment, liver disease, motor dysfunction, and growth abnormalities (Enns et al., 2014; Suzuki and Fujihira, 2024). The condition has become a paradigm for how disturbances in proteostasis reverberate across organ systems that are highly dependent on developmental precision and metabolic resilience. In other diseases, the mechanism is not pathway failure but signal misdirection. Fibrodysplasia ossificans progressiva is caused by activating ACVR1 variants that reprogram BMP pathway responsiveness so that inflammatory and tissue-injury contexts become permissive for ectopic osteochondral differentiation, effectively converting repair cues into pathological bone formation (Shore et al., 2006; Kaplan et al., 2025). This mechanism extends far beyond bone, touching innate immunity, hypoxia sensing, pain thresholds, joint patterning, and wound response, thereby showing how a single receptor defect can reshape an entire tissue-state transition landscape (Erdi-Krausz et al., 2025).

MIRAGE syndrome provides a third mechanistic logic: excessive growth repression. SAMD9 encodes a cytoplasmic protein implicated in host defense, endosomal dynamics, and control of cellular proliferation. Gain-of-function variants reduce cell growth and proliferation, contributing to fetal growth restriction, adrenal hypoplasia, enteropathy, genital anomalies, immune vulnerability, and marrow pathology (Narumi et al., 2016; Suntharalingham et al., 2022). What makes MIRAGE biologically distinctive is that the organism appears to select against the original pathogenic state through somatic rescue, creating a disease in which pathogenesis and compensation coexist. These three examples—proteostasis collapse, morphogen-signal rewiring, and growth-repressor hyperactivity—illustrate a broader principle. The rarest diseases are often mechanistically coherent even when phenotypically pleiotropic. Their complexity arises not from diffuse causation but from the fact that core pathways such as protein quality control, signal transduction, membrane trafficking, and transcriptional response are reused across tissues and developmental stages. High-impact ultra-rare disease research must therefore move past descriptive syndrome cataloging and focus on identifying the decisive molecular transaction that converts a genetic lesion into a multisystem phenotype. Once that transaction is understood, the disorder ceases to be merely rare; it becomes experimentally generative. This is the conceptual pivot that turns a descriptive syndrome into a platform for mechanism-based therapy and comparative human pathophysiology (Kaplan et al., 2025) (Hannah et al., 2023).



## 6. NGLY1 deficiency as a model of deglycosylation failure and systems proteostasis

NGLY1 deficiency is among the clearest examples of how the discovery of a very small patient population can redefine an entire area of cell biology. First recognized through genomic investigation of children with developmental delay, movement disorder, hypotonia, impaired tear production, and liver abnormalities, the disorder established that N-glycanase 1 is not a dispensable housekeeping enzyme but a central component of cytosolic protein quality control (Enns et al., 2014). NGLY1 participates in the processing of misfolded glycoproteins retrotranslocated from the endoplasmic reticulum, linking deglycosylation to endoplasmic reticulum-associated degradation and, more broadly, to proteostasis signaling networks. Subsequent mechanistic work has expanded this view, suggesting that NGLY1 influences multiple cellular programs, including transcriptional responses linked to proteasome homeostasis, developmental regulation, and tissue-specific stress adaptation (Suzuki and Fujihira, 2024). The disease therefore exemplifies how a seemingly narrow enzymatic defect can have systems-level consequences in neurons, liver, muscle, and the autonomic nervous system (Kariminejad et al., 2021).

Clinically, the registry era transformed understanding of the disorder. The largest published cohort to date documented 74 affected individuals and suggested that NGLY1 deficiency may be more common than the early literature implied, with an estimated incidence of approximately 12 births per year in the United States (Stanclift et al., 2022). Developmental delay, absent or limited speech, gait disturbance, hypotonia, alacrima, severe constipation, hyperkinetic movements, sleep abnormalities, liver enzyme elevation, and progressive regression define a recognizable yet still underdiagnosed syndrome. Importantly, the genotypic landscape remains instructive. Missense variants cluster disproportionately in the transglutaminase-like domain, whereas truncating variants are distributed more broadly, implying domain-specific sensitivity and a structure-function relationship that remains incompletely resolved (Stanclift et al., 2022). NGLY1 deficiency also reveals several broader lessons about ultra-rare disease science. It shows the importance of patient registries in converting anecdotal recognition into epidemiologic evidence; it highlights how natural-history gaps can impair counseling and endpoint design; and it demonstrates that disease definition can proceed iteratively, with molecular diagnosis driving phenotype refinement as much as the reverse. For a review centered on poorly investigated disorders, NGLY1 deficiency is especially valuable because it occupies the interface between rare-disease clinical genetics and fundamental proteostasis biology. It is not only a syndrome to be described, but also a biological experiment that exposed an unexpected dependency of human development on cytosolic deglycosylation. As additional longitudinal studies emerge, NGLY1 deficiency is likely to remain a benchmark disorder for linking rare-disease registries to pathway-centered discovery (Stanclift et al., 2022) (Lipiński et al., 2020).



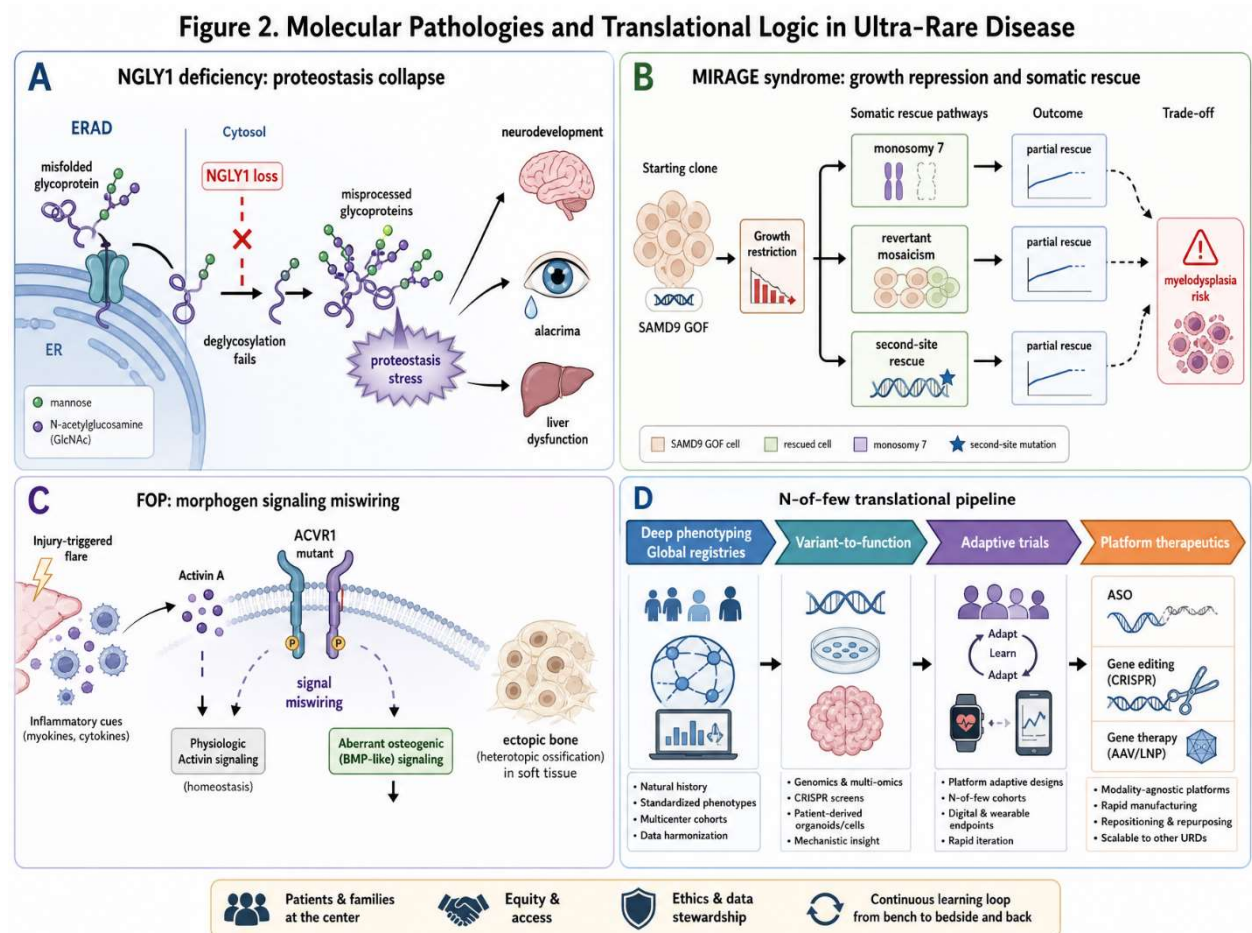


**Figure 2. Molecular pathologies and translational logic in ultra-rare disease.** (A) NGLY1 deficiency illustrates proteostasis collapse caused by impaired cytosolic deglycosylation during ER-associated degradation, leading to accumulation of misprocessed glycoproteins and multisystem consequences. (B) MIRAGE syndrome illustrates growth repression driven by gain-of-function SAMD9 variants and the emergence of somatic rescue states, including monosomy 7, revertant mosaicism, and second-site rescue, with potential hematologic risk. (C) Fibrodysplasia ossificans progressiva (FOP) illustrates morphogen-signaling miswiring, in which mutant ACVR1 redirects inflammatory signaling toward osteogenic programs and heterotopic ossification. (D) Together, these disorders define a translational framework for n-of-few conditions that links deep phenotyping and global registries to variant-to-function studies, adaptive trial design, and platform therapeutics such as antisense and gene-editing approaches.

## 7. MIRAGE syndrome and the biology of growth restriction with somatic rescue

MIRAGE syndrome is one of the most conceptually striking ultra-rare disorders identified in the genomic era because it combines severe multisystem developmental pathology with ongoing somatic adaptation. The syndrome was originally defined by the constellation of Myelodysplasia, Infection, Restriction of growth, Adrenal hypoplasia, Genital phenotypes, and Enteropathy and was linked to heterozygous gain-of-function mutations in SAMD9, a gene encoding a cytoplasmic protein involved in growth control and host-defense-related processes (Narumi et al., 2016; Suntharalingham et al., 2022). Mechanistically, the defining lesion is not absence of protein activity but excessive antiproliferative action. In cellular systems, pathogenic SAMD9 variants suppress proliferation and induce growth restriction, providing a coherent explanation for fetal growth failure, adrenal insufficiency, gastrointestinal pathology, and broad tissue hypoplasia (Suntharalingham et al., 2022). The phenotype is severe because the affected pathway governs a

fundamental cellular decision: whether growth and biosynthetic programs can proceed under developmental and stress conditions (Panaitescu et al., 2024).

What elevates MIRAGE syndrome from a rare endocrinologic or hematologic diagnosis to a model disease is the presence of dynamic somatic rescue. In hematopoietic tissues especially, cells that acquire secondary genomic events eliminating or bypassing the pathogenic SAMD9 allele can gain a proliferative advantage. These events include monosomy 7, deletion of 7q, acquired uniparental disomy, or second-site variants that blunt the original growth-restrictive effect (Suntharalingham et al., 2022). The result is biologically paradoxical. Somatic rescue can mitigate the primary antiproliferative defect in selected cell populations, yet some rescue routes, particularly monosomy 7, create new risks such as myelodysplastic progression. In other words, the organism may partially escape one pathogenic state by entering another. This makes MIRAGE syndrome a disorder of clonal selection as much as a congenital syndrome. It also complicates diagnosis, because mosaicism, tissue specificity, and temporal evolution can obscure the original genotype-phenotype correspondence. From a research perspective, MIRAGE syndrome exposes several frontier issues in ultra-rare disease biology: how to model diseases with changing genomes, how to interpret beneficial versus maladaptive somatic compensation, and how to surveil patients whose molecular pathology evolves over time. Although reported patient numbers remain very small, the phenotypic spectrum continues to broaden as awareness increases, suggesting that MIRAGE is both genuinely ultra-rare and historically underrecognized. Its study challenges the static view of monogenic disease and instead presents heredity, development, and somatic selection as a single integrated pathobiologic process. Few ultra-rare disorders illustrate so clearly that disease severity and disease evolution may be shaped by ongoing genomic competition within the patient (Suntharalingham et al., 2022) (Perisa et al., 2019).

## 8. Fibrodysplasia ossificans progressiva and the power of mechanism-led discovery

Fibrodysplasia ossificans progressiva (FOP) occupies a distinctive place among ultra-rare disorders because it demonstrates how a disease can be epidemiologically extreme yet mechanistically unusually focused. The condition affects roughly one person per million, is usually caused by de novo autosomal dominant variants, and in more than 97% of classic cases is associated with the recurrent ACVR1 p.Arg206His mutation (Shore et al., 2006; GeneReviews, 2020). Clinically, FOP is characterized by congenital malformation of the great toes and progressive heterotopic ossification that converts muscle, fascia, tendons, ligaments, and other connective tissues into ectopic bone. The phenotype is devastating, but the scientific clarity of the causal mechanism has made FOP a paradigmatic mechanism-driven disease. ACVR1 encodes a BMP type I receptor; activating variants alter receptor behavior and downstream signaling such that inflammatory or injury-associated contexts become permissive for aberrant chondrogenic and osteogenic programs (Shore et al., 2006; Kaplan et al., 2025) (Bauer et al., 2018).

Recent conceptual advances have broadened this picture substantially. FOP is no longer understood as merely a bone-formation disorder. Dysregulated ACVR1 signaling intersects with inflammatory cascades, innate immune responses, hypoxia sensing, wound healing, joint development, mechanical stress thresholds, and pain biology, revealing the disease as a systems-level disorder of tissue-state misinterpretation (Kaplan et al., 2025). In essence, the body mistakes damage-response and morphogenetic cues for instructions to build a second skeleton. This framework explains why trauma, injections, surgery, or soft-tissue injury can accelerate disease and why preventive clinical management remains as important as pharmacologic innovation. For ultra-rare disease research more broadly, FOP offers an important translational lesson: small patient numbers do not preclude therapeutic progress when the molecular target is sharply defined, the natural history is deeply characterized, and the biological narrative is coherent enough to support biomarker and trial development. At the same time, FOP reminds us that mechanistic precision does not eliminate complexity. The receptor defect has emergent properties that unfold across development, immunity, and tissue repair, making the disease relevant not only to skeletal pathology but also to broader questions of regeneration and fibrosis. In a review of the least investigated diseases, FOP serves as a counterpoint to disorders whose biology remains diffuse. It shows what becomes possible when a rare syndrome transitions from descriptive obscurity to pathway-centered understanding, and why similar transitions are urgently needed for many other ultra-rare conditions. In this sense, FOP serves as both a disease model and a translational template for the field at large (Shore et al., 2006) (Haga et al., 2020).

## 9. Translational bottlenecks: from gene discovery to therapeutic credibility

Despite spectacular advances in gene discovery, the path from molecular diagnosis to treatment remains the most fragile step in ultra-rare disease medicine. Next-generation sequencing has drastically improved diagnostic reach, but sequencing alone does not solve the downstream problems of interpretation, stratification, endpoint selection, or therapeutic feasibility (Lee and Choi, 2016). Even when a causative gene is identified, clinicians often face private variants, uncertain molecular consequences, and a nearly complete absence of natural-history benchmarks. This complicates every subsequent decision: what to monitor, which organ systems to prioritize, how to predict deterioration, and whether a candidate intervention is correcting disease biology or merely perturbing noise in an unstable trajectory. For underinvestigated disorders, a molecular label can therefore be diagnostically satisfying yet clinically incomplete. The result is a widening gap between gene discovery and therapeutic credibility (Chen et al., 2025).

Several structural bottlenecks recur across the field. First, patient numbers are too small for conventional randomized trial designs, especially when the disease is genetically heterogeneous or geographically dispersed. Second, clinically meaningful endpoints are often undefined because registries were established only after the gene was discovered, leaving early-life manifestations and longitudinal progression incompletely mapped. Third, many candidate therapies require biomarkers that reflect mechanism rather than phenotype alone; without such biomarkers, it is difficult to show target engagement in ultra-small studies. Fourth, the manufacturing and regulatory economics of individualized therapies remain unfavorable for many n-of-few indications, even when the biology is compelling. Fifth, disease models frequently lag behind diagnosis. Robust patient-derived cells, organoids, or animal systems may not exist, and when they do, they may capture only one aspect of a pleiotropic condition. These limitations are not theoretical. NGLY1 deficiency still requires deeper mechanistic stratification; MIRAGE syndrome challenges static trial designs because its molecular landscape can evolve through somatic rescue; and FOP, despite being further advanced translationally, illustrates how even a sharply targeted pathway must contend with flare variability, irreversible tissue damage, and prevention-focused clinical care (Stanclift et al., 2022; Suntharalingham et al., 2022; Kaplan et al., 2025). The future of therapy for the rarest diseases will therefore depend on adaptive trial designs, cross-border registry harmonization, longitudinal biomarker development, and modular therapeutic platforms capable of moving from pathway class to patient-specific implementation. Without these innovations, the field risks producing diagnoses faster than it can produce meaningful interventions. The scientific challenge is no longer only to find rare diseases, but to make them therapeutically intelligible on timelines relevant to patients and families (Lee and Choi, 2016) (Ryder et al., 2024).

## 10. A research agenda for the next decade of ultra-rare disease science

The next decade of ultra-rare disease research must shift from opportunistic discovery to organized inference. First, global case finding has to become systematic rather than incidental. This means broadening access to exome and genome sequencing, integrating variant-sharing platforms across national boundaries, and linking genomic data to high-resolution phenotypes in ways that are computable, privacy-conscious, and clinically usable. Second, registries must evolve from passive collections of diagnoses into longitudinal mechanistic observatories. For diseases such as NGLY1 deficiency, registry data have already changed epidemiologic understanding and clarified the frequency of key manifestations, but future registries should also capture biospecimens, omics profiles, imaging, wearable data, and standardized outcome measures that can support both natural-history research and trial readiness (Stanclift et al., 2022). Third, variant-to-function pipelines must become faster and more standardized. Many ultra-rare disorders will remain biologically ambiguous unless functional interpretation can keep pace with genomic diagnosis through scalable cell-based assays, CRISPR perturbation systems, transcriptomic readouts, and disease-relevant model organisms (Hartin et al., 2020).

Fourth, mechanistic classification should complement syndrome classification. Grouping patients solely by disease label may be less informative than organizing them by shared pathogenic logic such as proteostasis disruption, ribosome stress, channel dysfunction, aberrant developmental signaling, or somatic rescue. This approach could enlarge therapeutic opportunity by allowing pathway-directed interventions to move across diagnostic silos. Fifth, therapeutic evaluation must be redesigned for n-of-few populations. Adaptive Bayesian frameworks, intra-individual crossover logic where appropriate, external natural-history comparators, and validated pharmacodynamic biomarkers will be essential. Finally, the field should acknowledge that patients and families are often not peripheral stakeholders but central drivers of discovery. The history of ultra-rare disease research repeatedly shows that advocacy groups, family-founded registries, and direct collaboration with clinicians and basic scientists accelerate recognition, biospecimen collection, and translational momentum. If rare diseases are indeed nature's high-resolution experiments in human biology, then the rarest of them are its most compressed and difficult-to-detect signals (Lee et al., 2020). The task ahead is to build an infrastructure capable of hearing those signals before they are lost in diagnostic noise. A high-impact scientific agenda for ultra-rare disease must therefore be transnational, mechanistic, longitudinal, and experimentally ambitious. Only then will the least investigated disorders cease to be isolated anecdotes and become what they truly are: precise entry points into human developmental biology, pathophysiology, and therapeutic innovation. That transition—from anecdote to organized evidence—is the defining scientific mandate of the ultra-rare disease era (Nguengang Wakap et al., 2020) (Saha et al., 2021).

## **11. Diagnostic odyssey, phenotypic resolution, and the architecture of delayed recognition**

### **Phenotypic signal extraction**

One of the defining problems in ultra-rare disease medicine is not simply lack of treatment but delayed recognition of the disorder itself. Patients often travel through neurology, hepatology, endocrinology, immunology, rehabilitation, and psychiatry before a coherent diagnosis is assembled. This delay is intensified when early symptoms are common but their combination is not. Hypotonia, feeding difficulty, growth failure, seizures, movement abnormalities, or recurrent infections may each be familiar to specialists, yet the deeper syndromic pattern remains obscured when clinical data are partitioned across institutions and time. In ultra-rare conditions, diagnosis therefore depends on a high-resolution reading of phenotype architecture rather than a checklist approach to isolated findings. Deep phenotyping must capture developmental timing, trajectory, organ-system coupling, and unusual negative findings that can narrow mechanistic space (Wright et al., 2023).

### **From symptom lists to longitudinal signatures**

A more effective framework treats the patient history as a dynamic biologic narrative. The ordering of symptoms, the transitions between compensation and decompensation, and the influence of infection, fasting, anesthesia, or puberty can reveal pathway dependence that static snapshots miss. Digital phenotyping, structured clinical language, video review, and standardized ontologies can transform scattered observations into computationally searchable signatures. This is especially important for disorders in which two patients do not look identical at a single age, but share a recognizable developmental sequence over years. In that setting, the central object of diagnosis is not a fixed syndrome image but a longitudinal signature that emerges through time-aware interpretation (Kingsmore et al., 2022).

### **Diagnostic redesign for the ultra-rare era**

High-impact review writing should emphasize that the diagnostic odyssey is also a systems-design failure. Many patients remain unsolved because testing is ordered too late, reanalysis is infrequent, family samples are incomplete, and negative results are not revisited when new gene-disease relationships appear. Solving this problem requires reflex pathways from exome to genome, integrated copy-number and repeat analysis, RNA studies where clinically indicated, and periodic reinterpretation anchored to evolving databases. Equally important is a care model in which patients with unsolved but strongly genetic presentations are kept in active discovery pipelines rather than discharged into diagnostic limbo. For ultra-rare disease research, every delayed diagnosis is a lost opportunity for natural-history capture, therapeutic timing, and mechanistic discovery. Earlier recognition does more than shorten uncertainty; it changes the evidentiary landscape by allowing investigators to observe the disorder before secondary complications and fragmented interventions blur the primary biology (Stark et al., 2023).

### **Editorial implication**

For a review intended for a high-impact journal, the diagnostic question should therefore be framed not as a narrow matter of test selection, but as an issue of scientific yield. The earlier a case is molecularly and phenotypically resolved, the greater the value of that case for mechanism discovery, endpoint construction, and therapeutic prioritization across the field (Eisfeldt et al., 2025).



## **12. Variant interpretation beyond recurrent alleles: causality in the era of private mutation**

### **The limits of recurrence-based confidence**

Ultra-rare disease genetics frequently operates beyond the comfort zone of recurrent pathogenic alleles. Many patients carry private missense variants, unusual splice changes, structural rearrangements, or mosaic alterations that have never been reported previously. In this setting, conventional confidence derived from repeated observation is often unavailable, yet clinical decisions still have to be made. A high-quality framework for causality cannot rely only on rarity, in silico prediction, or broad gene-level intolerance metrics. Instead, interpretation must integrate mechanistic plausibility, inheritance logic, segregation, transcript consequences, protein-domain vulnerability, and convergence with phenotype at a level substantially richer than routine diagnostic filtering (Richards et al., 2015).

### **Functional consequence as the decisive layer**

The decisive shift is from sequence description to functional consequence. When alleles are unique, the key question is not whether a variant looks unusual, but whether it perturbs the relevant biologic transaction in a measurable and disease-consistent way. This may involve RNA analysis to confirm exon skipping, minigene experiments to test splice effects, proteomic assays to detect instability, enzymology to quantify residual activity, or cellular readouts that expose pathway disruption under stress. The value of these assays is highest when they are designed around disease mechanism rather than generic damage scores. A missense change in a trafficking regulator, for example, should be evaluated through trafficking behavior, not merely protein abundance (De Boeck et al., 2026).

### **Evidence synthesis for n-of-few medicine**

Interpretation in n-of-few settings also benefits from a broader concept of replication. Replication may occur across variants that disrupt the same functional module, across patients who share a cellular phenotype without identical alleles, or across model systems that converge on the same molecular defect. This layered synthesis is especially important in disorders that exist near the boundary between syndrome and pathway. Journal-grade reviews should therefore argue for a causality model that is probabilistic, mechanistically grounded, and explicitly updateable. The goal is not premature certainty, but disciplined evidence accumulation strong enough to support surveillance, counseling, and rational therapy development. As sequencing discovers more one-family diseases, variant interpretation will increasingly become a translational science of inference under extreme scarcity, where the most persuasive evidence is neither statistical abundance nor anecdotal intuition, but functional coherence across every level of observation (Del Gobbo et al., 2025).

### **Translational implication**

This shift carries practical consequences for publication standards as well. Reports centered on private variants should present functional evidence with enough depth to permit external interpretation, because the field advances only when one-family observations are converted into reusable causal knowledge rather than left as isolated diagnostic anecdotes (Labory et al., 2020).



### **13. Long-read genomics, transcriptomics, and multi-omic resolution of hidden disease architecture**

#### **Beyond the exome blind spot**

Short-read exome sequencing transformed rare-disease discovery, but its limits become especially visible at the far end of rarity. Many ultra-rare disorders remain unsolved not because the disease is unknowable, but because the pathogenic lesion lies outside the analytic field of routine pipelines. Deep intronic variants, structural rearrangements, repeat expansions, small inversions, mobile-element insertions, complex indels, and allele-specific regulatory events may escape standard calling or be misclassified as benign noise. Long-read sequencing has particular relevance here because it can resolve haplotypes, structural complexity, repetitive regions, and cryptic breakpoints that are poorly represented by short fragments. For ultra-rare disease cohorts, where every solved case meaningfully reshapes gene-disease knowledge, the gain from resolving hidden architecture can be unusually high (Pandey et al., 2022).

#### **RNA as a bridge from genotype to mechanism**

Transcriptomic analysis provides a second critical layer. RNA sequencing can expose aberrant splicing, nonsense-mediated decay, monoallelic expression, transcript imbalance, and context-dependent rescue that DNA analysis alone cannot fully explain. In diseases driven by tissue-specific biology, the challenge becomes selecting the right biospecimen and the right perturbation context. Blood may suffice for some immune or hematologic disorders, while fibroblasts, induced cell states, or organoid systems are needed for neurodevelopmental and metabolic phenotypes. The importance of RNA lies not only in increasing diagnostic yield, but in narrowing the distance between genotype and experimentally actionable mechanism (Verheij et al., 2025).

#### **From isolated omics to interpretable integration**

A mature ultra-rare disease strategy should not treat genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics as competing options. Their power lies in coordinated integration. A candidate allele gains credibility when transcript change, downstream protein effect, and disease-relevant metabolite shift all point in the same direction. Multi-omic convergence is especially valuable in single-family disorders where cohort replication is impossible. It can also expose modifier biology, compensatory adaptation, and tissue vulnerability that would otherwise remain invisible. For high-impact review writing, the essential message is that unresolved rarity increasingly reflects analytic incompleteness rather than true absence of causal signal. As long-read and multi-omic workflows become more scalable, the frontier will move from whether a disease can be detected to whether clinical systems are prepared to interpret deeply layered evidence quickly enough to alter care (Verstegen et al., 2025).

#### **Strategic perspective**

The most consequential advance may be cultural rather than technical: unsolved cases should trigger deeper architecture mapping by default when the phenotype remains strongly genetic. In ultra-rare disease medicine, negative first-pass sequencing should increasingly be treated as a prompt for richer molecular resolution, not as the endpoint of investigation (Kuzinska et al., 2024).

## **14. Patient-derived models, organoid systems, and functional perturbation platforms**

### **Why model choice matters more in ultra-rare disease**

The scarcity of patients places unusual weight on experimental models. In common disease, imperfect models can be buffered by large human datasets, but in ultra-rare disorders the model often carries a substantial share of the evidentiary burden. This makes model choice strategically important. The central question is not whether a system is convenient, but whether it preserves the biologic dependency that drives the patient phenotype. Fibroblasts, lymphoblasts, induced pluripotent stem cells, organoids, and engineered animal models each reveal different layers of mechanism, yet none is universally sufficient. A productive review should frame model selection as an exercise in causal alignment between disease process and assay system (Bombieri et al., 2024).

### **Patient cells as discovery engines**

Patient-derived materials remain especially powerful because they retain the native genotype, including modifier context and unexpected molecular interactions. They are often the first place where pathogenicity moves from inference to observation: altered trafficking, defective stress response, impaired differentiation, aberrant extracellular matrix deposition, or failure of stimulus-dependent signaling can be demonstrated directly. Reprogramming these cells into lineage-relevant states expands the mechanistic field and allows investigators to ask whether a candidate therapy normalizes phenotype rather than merely changing a surrogate marker. In diseases that affect inaccessible tissues, such as brain or adrenal cortex, organoid and induced-cell approaches create experimentally tractable proxies that can capture developmental vulnerability with greater fidelity than transformed cell lines (Mäkinen et al., 2021).

### **Functional platforms for therapeutic ranking**

The next advance is to convert patient-derived modeling from bespoke casework into semi-systematic platform science. CRISPR perturbation, pooled rescue screening, single-cell readouts, and quantitative imaging can rank candidate mechanisms and therapeutic hypotheses even when only a few patient samples exist. Importantly, these platforms also help define failure. A therapy that restores enzyme abundance but not cellular resilience may be biologically incomplete. Similarly, a pathway inhibitor that works in overexpression systems but not in patient-derived cells may have weak translational credibility. For ultra-rare diseases, where clinical experimentation is constrained, the preclinical model must do more than illustrate abnormality; it must discriminate between plausible and implausible interventions. High-impact reviews should therefore treat patient-derived models not as supplementary evidence, but as core translational infrastructure linking genotype discovery to trial-worthy hypotheses (Ng et al., 2021).

### **Operational implication**

This framework also supports comparability across disorders. Once standardized perturbation and rescue pipelines are established, functional work can move faster from one newly solved condition to the next, helping transform rare-disease biology from artisanal model building into a more cumulative and scalable translational enterprise (Percy et al., 2024).

## **15. Natural history, biomarkers, and digital endpoints for n-of-few populations**

### **Natural history as the first therapeutic technology**

For many ultra-rare diseases, natural-history definition is the first intervention because it determines what counts as progression, stabilization, and meaningful clinical change. Without this baseline, even promising therapies remain difficult to evaluate. The challenge is that progression is rarely linear. Some disorders show rapid early injury followed by plateau, others fluctuate with stress exposures, and some evolve through tissue-specific transitions that only become visible over long follow-up. Registry design must therefore move beyond sporadic case summaries and capture repeated, standardized measures across development, organ systems, and treatment eras. The scientific value of such data is amplified when patient numbers are tiny, because each missing observation materially weakens endpoint design and prognostic understanding (Poleur et al., 2023).

### **Biomarker logic under extreme scarcity**

Biomarkers in this setting must satisfy several demands at once: mechanistic relevance, analytic reproducibility, tolerable burden, and interpretability across age and disease stage. A useful biomarker need not be fully validated at the outset, but it should connect clearly to the pathogenic process and respond in a direction consistent with therapeutic expectation. Fluid markers, imaging features, electrophysiology, gait metrics, speech analytics, sleep architecture, and quantitative motion signatures may all contribute depending on disease biology. Importantly, biomarkers should not be selected only because they are easy to measure. Convenience without mechanistic anchoring produces weak translational signals and increases the risk of false therapeutic optimism (Defelippe et al., 2023).

### **Digital endpoints and distributed follow-up**

Digital technologies offer special promise for ultra-rare disease populations because patients are geographically dispersed and clinic visits are infrequent. Wearables, smartphone-based tasks, home video protocols, and caregiver-reported structured observations can generate dense longitudinal data that traditional clinic models cannot capture. These methods are most powerful when paired with clinician adjudication and disease-specific interpretation rules, rather than treated as generic remote monitoring. A high-impact review should emphasize that digital endpoints are not a shortcut around rigor; they are a way to preserve rigor under conditions of dispersion and low sample size. When thoughtfully deployed, they can reveal trajectories, variability, and treatment response patterns that would otherwise remain invisible between annual visits. In n-of-few medicine, measurement strategy is not a technical afterthought; it is part of the therapeutic evidence architecture itself (Garczarek et al., 2023).

### **Practical implication**

The field now needs harmonized endpoint menus that are flexible enough for disease specificity yet consistent enough for cross-study comparison. Without this intermediate layer of standardization, ultra-rare trials will continue to generate fragmented outcome data that are difficult to interpret beyond a single program or institution (Kim-McManus et al., 2024).

## **16. Trial design under radical scarcity: adaptive, mechanistic, and individualized evidence models**

### **Why conventional trials often fail before they begin**

Ultra-rare diseases expose the mismatch between conventional trial methodology and biologic reality. Standard randomized designs assume sufficient sample size, relatively stable natural history, and endpoints that can be estimated with familiar statistical power. None of these assumptions reliably holds when a disease affects only dozens of patients worldwide. Recruitment may be slow, genotype heterogeneity may be substantial, and baseline progression may be poorly described. As a result, promising interventions can fail not because the biology is unresponsive, but because the evidentiary architecture is imported from larger disease populations where uncertainty behaves differently (Takeda et al., 2021).

### **Adaptive and within-patient designs**

A more appropriate model uses adaptive, mechanistically informed, and within-patient strategies. Crossover designs, staggered starts, Bayesian borrowing, historical controls, repeated-measures analyses, and individualized baselines can all increase interpretability when cohort size is the limiting factor. The credibility of these designs depends on rigorous endpoint selection and transparent handling of variability, especially when placebo use is ethically difficult or logistically impossible. In some disorders, genotype-stratified enrollment is more informative than phenotype-only grouping because therapeutic response is tied to allelic mechanism. In others, a platform trial concept may be necessary, allowing multiple interventions to be assessed against a harmonized natural-history backbone (Anthony et al., 2022).

### **Evidence quality without methodological mimicry**

The central principle is that small trials need not be weak trials. Evidence becomes persuasive when it aligns mechanistic expectation, biomarker movement, clinical trajectory, and reproducibility across time within the same individual or small cohort. High-impact journal reviews should reject the false binary between conventional trial size and scientific credibility. Instead, they should argue for methodological fitness: the trial must be designed for the disease that exists, not the disease statistician wishes existed. This means predefining rescue rules, accommodating heterogeneous trajectories, and accepting that the strongest evidence may come from layered concordance rather than large numerical comparison. For ultra-rare conditions, trial design is best understood as an exercise in maximizing information density per patient while preserving interpretive discipline. The future of therapeutic evaluation in this space will likely depend on global coordination, shared core outcomes, and regulators willing to judge evidence according to biologic coherence as well as sample size (Aoki et al., 2021).

### **Editorial implication**

If the field embraces this logic, trial innovation will no longer be seen as a concession to rarity, but as a rigorous methodological response to a distinctive evidentiary environment. That conceptual reframing is essential for bringing ultra-rare therapeutic studies into the mainstream of serious clinical investigation (Girach et al., 2022).

## **17. Regulatory science, evidentiary thresholds, and the problem of actionable uncertainty**

### **The regulatory paradox of extreme rarity**

Regulatory systems are asked to make high-stakes decisions under conditions that are almost guaranteed to remain data-limited. Ultra-rare diseases create a paradox: the unmet need is profound, the biologic rationale for intervention may be strong, yet the evidentiary package is often narrower than what conventional approval frameworks prefer. If standards are applied without adaptation, therapies arrive too late or not at all. If standards are relaxed without discipline, patients may be exposed to expensive and ineffective interventions. The true challenge is not whether uncertainty exists, but how uncertainty is made actionable without collapsing the distinction between hope and evidence (Adachi et al., 2023).

### **Mechanism-linked evidence packages**

A constructive path forward is to align evidentiary thresholds with disease architecture and therapeutic mechanism. A gene-replacement strategy for a clear loss-of-function disorder with a validated biomarker may justifiably be evaluated differently from a pleiotropic small-molecule intervention for a pathway-level syndrome with heterogeneous progression. The more direct the causal chain between intervention and mechanism, the more weight can be placed on integrated translational evidence, including natural history, biomarker restoration, and functional model rescue. This does not eliminate the need for clinical outcome data, but it can justify staged evidence models in which early access is coupled to structured post-approval learning (Barrett et al., 2025).

### **Actionable uncertainty as a governance problem**

High-quality reviews should present regulation in ultra-rare disease as a governance problem rather than a simple gatekeeping problem. The question is how to build systems that learn quickly from every treated patient. That requires interoperable registries, prospective safety capture, shared endpoint definitions, and agreements on what constitutes meaningful benefit when cure is unrealistic. It also requires transparency about failure, because negative experience in small populations can be as informative as success. Regulatory science for the rarest disorders should therefore be dynamic, conditional, and evidence-generating by design. In practice, the most defensible approvals may emerge from frameworks that treat uncertainty not as a reason for paralysis, but as a managed variable that must be reduced through continuous observation after intervention begins. This approach respects both patient urgency and scientific integrity (Nishad et al., 2025).

### **Forward view**

Over time, this approach could make ultra-rare regulation more predictable rather than more permissive. Predictability matters because developers, clinicians, and patient communities all plan differently when the route from mechanism to access is transparent, staged, and explicitly tied to continued evidence generation (Cheerie et al., 2025).

## **18. Therapeutic platforms: antisense, gene replacement, editing, and pathway-directed rescue**

### **From disease-by-disease therapy to platform logic**

The therapeutic future of ultra-rare disease will likely depend less on bespoke one-off development and more on adaptable platforms that can be reconfigured across disorders. Antisense oligonucleotides, RNA modulation, gene replacement, genome editing, targeted protein degradation, and pathway-directed small molecules offer different entry points into the same translational problem: how to intervene rapidly when patient numbers are too small for traditional commercial timelines. Platform logic matters because many ultra-rare diseases are discovered faster than entirely new development programs can be built. A reusable manufacturing, delivery, and regulatory backbone can compress the interval between causal discovery and first-in-human treatment.

### **Matching platform to mechanism**

Therapeutic matching must remain mechanistically disciplined. Loss-of-function disorders may be candidates for gene augmentation or transcript rescue, but toxic gain-of-function states may require allele-specific silencing, editing, or downstream pathway interruption. Some diseases will remain more tractable through substrate reduction, proteostasis modulation, or inflammatory-state control than through direct gene correction. The highest-impact programs are likely to emerge where platform choice is driven by the exact causal lesion, tissue accessibility, developmental window, and safety constraints rather than by technological enthusiasm alone. In ultra-rare medicine, an elegant platform that mismatches disease mechanism is not a shortcut; it is a delay.

### **The translational bottleneck after proof of concept**

Even when preclinical rescue is convincing, major bottlenecks remain. Vector biodistribution, immunogenicity, redosing limits, manufacturing scale, and regulatory packaging can be disproportionately burdensome for tiny populations. There is also a recurrent tension between urgency and durability: patients and families often need near-term intervention, while developers must judge whether transient benefit, partial tissue delivery, or incomplete correction is sufficient to justify exposure. A mature review should therefore argue that platform therapeutics are necessary but not self-executing. Their success will depend on shared delivery technologies, public-private manufacturing partnerships, and evidence standards calibrated for small cohorts. The strategic goal is not merely to invent more tools, but to make therapeutic initiation reproducible enough that a newly solved disease no longer faces an automatic decade-long translational delay.

### **Programmatic implication**

The next threshold for the field is operational readiness. Once a disorder is solved and the mechanism is judged tractable, the lag between discovery and a credible preclinical package should be measured in months rather than years. Platform medicine will succeed only if that acceleration becomes normal rather than exceptional.

## **19. Ethics, equity, and global justice in the study of the rarest disorders**

### **Rarity does not justify exclusion**

Ultra-rare disease research is often described as scientifically difficult, but it is equally an ethical test of whose suffering becomes legible to health systems. Many patients remain undiagnosed or untreated not because their disorders are biologically uninterpretable, but because sequencing access, specialist referral networks, and research enrollment opportunities are concentrated in well-resourced regions. This creates an inequitable discovery loop in which diseases recognized in affluent settings are studied, while equally severe disorders elsewhere remain invisible. Rarity should not be allowed to function as a moral alibi for exclusion from diagnosis, infrastructure, and therapeutic imagination.

### **Participation, burden, and reciprocal value**

The ethical burden on families is also distinctive. Parents and caregivers are frequently asked to travel long distances, contribute samples repeatedly, share deeply personal data, and tolerate experimental uncertainty with little guarantee of benefit. In some ultra-rare conditions, patient communities become de facto research coordinators, fundraisers, and knowledge brokers. A high-quality review should acknowledge that this labor has scientific value and should be met with reciprocal structures: transparent governance, return of results, accessible communication, and study designs that minimize avoidable burden. Ethical participation is not only about consent documents; it is about whether the research system treats families as disposable data sources or as long-term partners in discovery.

### **Justice after diagnosis**

Equity questions intensify after diagnosis, when emerging therapies may be available only through limited programs, single-country pathways, or unsustainable pricing models. The possibility of individualized or very small-batch treatments raises profound questions about affordability, priority setting, and global access. If a therapy can be designed but not distributed beyond a narrow geography, translational success remains ethically incomplete. Reviews targeting high-impact journals should therefore connect scientific progress to justice-oriented implementation. The field needs international registries that include underrepresented populations, harmonized data standards that do not privilege one health system, and financing models that recognize the social value of treating tiny populations. The ultimate measure of progress is not merely whether an ultra-rare disease becomes biologically understood, but whether understanding can be converted into fair access to diagnosis, follow-up, and intervention across borders.

### **Normative conclusion**

This ethical agenda is not separate from scientific excellence. A field that systematically excludes large parts of the world will not only be unjust; it will also be less accurate, less generalizable, and slower to discover the full spectrum of ultra-rare human disease.



## **20. Conclusion: toward a learning health system for ultra-rare and hyper-rare disease**

### **From isolated cases to cumulative intelligence**

The central lesson of ultra-rare disease research is that scarcity of patients need not mean scarcity of insight. These disorders reveal core principles of development, tissue maintenance, stress adaptation, and human genetic vulnerability with a precision that often exceeds what is possible in heterogeneous common disease. Yet insight is produced only when the system surrounding the patient is capable of learning quickly. Case recognition, genomic analysis, functional validation, natural-history capture, biomarker development, and therapeutic experimentation must no longer occur as disconnected stages separated by years of delay. The future lies in a learning health system that converts every encounter into cumulative, shareable intelligence.

### **The infrastructure of acceleration**

Such a system requires technical and institutional redesign. Diagnostics must be iterative rather than one-time. Data standards must allow phenotype, sequence, and functional readouts to travel across centers without semantic loss. Registries must be built not merely as contact lists, but as longitudinal evidence platforms integrated with biospecimens and digital measures. Functional studies should be linked prospectively to clinical uncertainty so that experimental work answers questions that matter for surveillance and therapy. Regulators, funders, clinicians, and patient communities need aligned incentives around rapid evidence generation rather than isolated milestone achievement. In ultra-rare disease, fragmentation is itself a pathogenic force because it delays recognition, scatters expertise, and weakens every subsequent inference.

### **A field defined by disciplined optimism**

The path forward should be defined neither by romantic exceptionalism nor by fatalism. Not every ultra-rare disease will become immediately treatable, and not every mechanistic insight will translate into durable benefit. Nevertheless, the field now has unprecedented tools for causal discovery and experimental intervention. The next decade should be judged by whether those tools are organized into reliable pipelines that shorten time to diagnosis, improve evidence quality in tiny cohorts, and make platform therapeutics realistically deployable. If that transition occurs, ultra-rare and hyper-rare diseases will no longer sit at the neglected margin of medicine. They will stand as a demanding but illuminating model for how precision medicine can operate when evidence is scarce, biology is deep, and every patient meaningfully reshapes the map of human disease.

### **Closing perspective**

For review writing, this conclusion invites a final shift in tone: ultra-rare diseases should be presented not as curiosities at the edge of medicine, but as a rigorous proving ground for future models of diagnosis, experimentation, regulation, and therapeutic delivery across precision health.

## References

- Adachi, T., El-Hattab, A. W., Jain, R., Nogales Crespo, K. A., Quirland Lazo, C. I., Scarpa, M., Summar, M., & Wattanasirichaigoon, D. (2023). Enhancing Equitable Access to Rare Disease Diagnosis and Treatment around the World: A Review of Evidence, Policies, and Challenges. *International journal of environmental research and public health*, 20(6).
- Anthony, K. (2022). RNA-based therapeutics for neurological diseases. *RNA biology*, 19(1), 176-190.
- Aoki, Y., & Wood, M. J. A. (2021). Emerging Oligonucleotide Therapeutics for Rare Neuromuscular Diseases. *Journal of neuromuscular diseases*, 8(6), 869-884.
- Bagger, F. O., Borgwardt, L., Jespersen, A. S., Hansen, A. R., Bertelsen, B., Kodama, M., & Nielsen, F. C. (2024). Whole genome sequencing in clinical practice. *BMC medical genomics*, 17(1), 39.
- Barrett, D., Cannon, P. M., Mingozzi, F., Porteus, M., Rivière, I., & Flotte, T. R. (2025). Overcoming barriers to commercially pre-viable gene and cell therapies for rare and ultra-rare diseases. *Molecular therapy : the journal of the American Society of Gene Therapy*, 33(11), 5316-5326.
- Bauer, A. H., Bonham, J., Gutierrez, L., Hsiao, E. C., & Motamedi, D. (2018). Fibrodysplasia ossificans progressiva: a current review of imaging findings. *Skeletal radiology*, 47(8), 1043-1050.
- Bombieri, C., Corsi, A., Trabetti, E., Ruggiero, A., Marchetto, G., Vattemi, G., Valenti, M. T., Zipeto, D., ..., & Romanelli, M. G. (2024). Advanced Cellular Models for Rare Disease Study: Exploring Neural, Muscle and Skeletal Organoids. *International journal of molecular sciences*, 25(2).
- Chakravorty, S., & Hegde, M. (2017). Gene and Variant Annotation for Mendelian Disorders in the Era of Advanced Sequencing Technologies. *Annual review of genomics and human genetics*, 18, 229-256.
- Cheerie, D., Meserve, M. M., Beijer, D., Kaiwar, C., Newton, L., Taylor Tavares, A. L., Verran, A. S., Sherrill, E., ..., & N=1 Collaborative, (2025). Consensus guidelines for assessing eligibility of pathogenic DNA variants for antisense oligonucleotide treatments. *American journal of human genetics*, 112(5), 975-983.
- Chen, J., Nie, L., Lee, S., Chu, H., Tian, H., Wang, Y., He, W., Jemielita, T., ..., & Lee, H. (2025). Challenges and Possible Strategies to Address Them in Rare Disease Drug Development: A Statistical Perspective. *Clinical pharmacology and therapeutics*, 118(1), 62-73.
- Chung, C. C. Y., Hong Kong Genome Project, Chu, A. T. W., & Chung, B. H. Y. (2022). Rare disease emerging as a global public health priority. *Frontiers in public health*, 10, 1028545.
- De Boeck, K., Burgel, P. R., Bierlaagh, M., Hill, K., Amaral, M., Birimberg-Schwartz, L., Brewington, J. J., Davies, J. C., ..., & Beekman, J. M. (2026). ECFS statement on theratyping and theranostics in the context of rare and ultrarare CFTR variants in people with CF. *Journal of cystic fibrosis : official journal of the European Cystic Fibrosis Society*.
- Defelippe, V. M., J M W van Thiel, G., Otte, W. M., Schutgens, R. E. G., Stunnenberg, B., Cross, H. J., O'Callaghan, F., De Giorgis, V., ..., & Braun, K. P. J. (2023). Toward responsible clinical n-of-1 strategies for rare diseases. *Drug discovery today*, 28(10), 103688.
- Del Gobbo, G. F., & Boycott, K. M. (2025). The additional diagnostic yield of long-read sequencing in undiagnosed rare diseases. *Genome research*, 35(4), 559-571.
- Eisfeldt, J., Ek, M., Nordenskjöld, M., & Lindstrand, A. (2025). Toward clinical long-read genome sequencing for rare diseases. *Nature genetics*, 57(6), 1334-1343.
- Erdi-Krausz, G., & Shaw, P. J. (2025). Antisense oligonucleotide therapy in amyotrophic lateral sclerosis. *Current opinion in neurology*, 38(5), 574-580.

- Garczarek, U., Muehlemann, N., Richard, F., Yajnik, P., & Russek-Cohen, E. (2023). Bayesian Strategies in Rare Diseases. *Therapeutic innovation & regulatory science*, 57(3), 445-452.
- Girach, A., Audo, I., Birch, D. G., Huckfeldt, R. M., Lam, B. L., Leroy, B. P., Michaelides, M., Russell, S. R., ..., & Yang, P. (2022). RNA-based therapies in inherited retinal diseases. *Therapeutic advances in ophthalmology*, 14, 25158414221134602.
- Haga, N., Nakashima, Y., Kitoh, H., Kamizono, J., Katagiri, T., Saijo, H., Tsukamoto, S., Shinoda, Y., ..., & Nakahara, Y. (2020). Fibrodysplasia ossificans progressiva: Review and research activities in Japan. *Pediatrics international : official journal of the Japan Pediatric Society*, 62(1), 3-13.
- Hannah, W. B., Derks, T. G. J., Drumm, M. L., Grünert, S. C., Kishnani, P. S., & Vissing, J. (2023). Glycogen storage diseases. *Nature reviews. Disease primers*, 9(1), 46.
- Hartin, S. N., Means, J. C., Alaimo, J. T., & Younger, S. T. (2020). Expediting rare disease diagnosis: a call to bridge the gap between clinical and functional genomics. *Molecular medicine (Cambridge, Mass.)*, 26(1), 117.
- Kariminejad, A., Shakiba, M., Shams, M., Namiranian, P., Eghbali, M., Talebi, S., Makvand, M., Jaeken, J., ..., & Hennekam, R. C. (2021). NGLY1 deficiency: Novel variants and literature review. *European journal of medical genetics*, 64(3), 104146.
- Kernohan, K. D., & Boycott, K. M. (2024). The expanding diagnostic toolbox for rare genetic diseases. *Nature reviews. Genetics*, 25(6), 401-415.
- Kim-McManus, O., Gleeson, J. G., Mignon, L., Smith Fine, A., Yan, W., Nolen, N., Demarest, S., Berry-Kravis, E., ..., & Yu, T. (2024). A framework for N-of-1 trials of individualized gene-targeted therapies for genetic diseases. *Nature communications*, 15(1), 9802.
- Kingsmore, S. F., Nofsinger, R., & Ellsworth, K. (2024). Rapid genomic sequencing for genetic disease diagnosis and therapy in intensive care units: a review. *NPJ genomic medicine*, 9(1), 17.
- Kingsmore, S. F., Smith, L. D., Kunard, C. M., Bainbridge, M., Batalov, S., Benson, W., Blincow, E., Caylor, S., ..., & Defay, T. (2022). A genome sequencing system for universal newborn screening, diagnosis, and precision medicine for severe genetic diseases. *American journal of human genetics*, 109(9), 1605-1619.
- Kuzinska, M. Z., Lin, S. Y., Klämbt, V., Bufler, P., & Rezvani, M. (2024). Ciliopathy organoid models: a comprehensive review. *American journal of physiology. Cell physiology*, 327(6), C1604-C1625.
- Labory, J., Fierville, M., Ait-El-Mkadem, S., Bannwarth, S., Paquis-Flucklinger, V., & Bottini, S. (2020). Multi-Omics Approaches to Improve Mitochondrial Disease Diagnosis: Challenges, Advances, and Perspectives. *Frontiers in molecular biosciences*, 7, 590842.
- Lipiński, P., Bogdańska, A., Róźdzynska-Świątkowska, A., Wierzbicka-Rucińska, A., & Tyłki-Szymańska, A. (2020). NGLY1 deficiency: Novel patient, review of the literature and diagnostic algorithm. *JIMD reports*, 51(1), 82-88.
- Mäkinen, T., Boon, L. M., Vikkula, M., & Alitalo, K. (2021). Lymphatic Malformations: Genetics, Mechanisms and Therapeutic Strategies. *Circulation research*, 129(1), 136-154.
- Ng, Y. S., Bindoff, L. A., Gorman, G. S., Klopstock, T., Kornblum, C., Mancuso, M., McFarland, R., Sue, C. M., ..., & Turnbull, D. M. (2021). Mitochondrial disease in adults: recent advances and future promise. *The Lancet. Neurology*, 20(7), 573-584.
- Nguengang Wakap, S., Lambert, D. M., Olry, A., Rodwell, C., Gueydan, C., Lanneau, V., Murphy, D., Le Cam, Y., ..., & Rath, A. (2020). Estimating cumulative point prevalence of rare diseases: analysis of the Orphanet database. *European journal of human genetics : EJHG*, 28(2), 165-173.

- Nishad, S., Dongare, D., Saha, S., Anil, R. D., Srivastava, N., & Dey, A. (2025). Current perspectives on gene therapy and its involvement in curing genetic disorders. *Human genetics*, 144(7), 695-713.
- Panaiteanu, A. M., Hultuță, I., Gorecki, G. P., Cima, L. N., Voiculescu, V. M., Nedelea, F. M., & Gică, N. (2024). Prenatal Features of MIRAGE Syndrome-Case Report and Review of the Literature. *Children (Basel, Switzerland)*, 11(3).
- Pandey, A., Adams, J. M., Han, S. Y., & Jafar-Nejad, H. (2022). NGLY1 Deficiency, a Congenital Disorder of Deglycosylation: From Disease Gene Function to Pathophysiology. *Cells*, 11(7).
- Pejaver, V., Byrne, A. B., Feng, B. J., Pagel, K. A., Mooney, S. D., Karchin, R., O'Donnell-Luria, A., Harrison, S. M., ..., & ClinGen Sequence Variant Interpretation Working Group, (2022). Calibration of computational tools for missense variant pathogenicity classification and ClinGen recommendations for PP3/BP4 criteria. *American journal of human genetics*, 109(12), 2163-2177.
- Percy, A. K., Ananth, A., & Neul, J. L. (2024). Rett Syndrome: The Emerging Landscape of Treatment Strategies. *CNS drugs*, 38(11), 851-867.
- Perisa, M. P., Rose, M. J., Varga, E., Kamboj, M. K., Spencer, J. D., & Bajwa, R. P. S. (2019). A novel SAMD9 variant identified in patient with MIRAGE syndrome: Further defining syndromic phenotype and review of previous cases. *Pediatric blood & cancer*, 66(7), e27726.
- Poleur, M., Markati, T., & Servais, L. (2023). The use of digital outcome measures in clinical trials in rare neurological diseases: a systematic literature review. *Orphanet journal of rare diseases*, 18(1), 224.
- Posey, J. E. (2019). Genome sequencing and implications for rare disorders. *Orphanet journal of rare diseases*, 14(1), 153.
- Richards, S., Aziz, N., Bale, S., Bick, D., Das, S., Gastier-Foster, J., Grody, W. W., Hegde, M., ..., & ACMG Laboratory Quality Assurance Committee, (2015). Standards and guidelines for the interpretation of sequence variants: a joint consensus recommendation of the American College of Medical Genetics and Genomics and the Association for Molecular Pathology. *Genetics in medicine : official journal of the American College of Medical Genetics*, 17(5), 405-24.
- Ryder, S. (2024). Integrated Applied Clinical Pharmacology in the Advancement of Rare and Ultra-Rare Disease Therapeutics. *Clinical pharmacology and therapeutics*, 116(6), 1485-1495.
- Saha, K., Sontheimer, E. J., Brooks, P. J., Dwinell, M. R., Gersbach, C. A., Liu, D. R., Murray, S. A., Tsai, S. Q., ..., & SCGE Consortium, (2021). The NIH Somatic Cell Genome Editing program. *Nature*, 592(7853), 195-204.
- Smith, C. I. E., Bergman, P., & Hagey, D. W. (2022). Estimating the number of diseases - the concept of rare, ultra-rare, and hyper-rare. *iScience*, 25(8), 104698.
- Stark, Z., & Scott, R. H. (2023). Genomic newborn screening for rare diseases. *Nature reviews. Genetics*, 24(11), 755-766.
- Takeda, S., Clemens, P. R., & Hoffman, E. P. (2021). Exon-Skipping in Duchenne Muscular Dystrophy. *Journal of neuromuscular diseases*, 8(s2), S343-S358.
- Verheij, V. A., Diecidue, R. J., Botman, E., Harrington, J. D., Haga, N., Hidalgo-Bravo, A., Delai, P. L. R., Madhuri, V., ..., & Eekhoff, E. M. W. (2025). Palovarotene in fibrodysplasia ossificans progressiva: review and perspective. *Expert opinion on pharmacotherapy*, 26(3), 291-299.
- Verstegen, M. M. A., Coppes, R. P., Beghin, A., De Coppi, P., Gerli, M. F. M., de Graeff, N., Pan, Q., Saito, Y., ..., & van der Laan, L. J. W. (2025). Clinical applications of human organoids. *Nature medicine*, 31(2), 409-421.
- Wright, C. F., Campbell, P., Eberhardt, R. Y., Aitken, S., Perrett, D., Brent, S., Danecek, P., Gardner, E. J., ..., & DDD Study, (2023). Genomic Diagnosis of Rare Pediatric Disease in the United Kingdom and Ireland. *The New England journal of medicine*, 388(17), 1559-1571.

Wright, C. F., FitzPatrick, D. R., & Firth, H. V. (2018). Paediatric genomics: diagnosing rare disease in children. *Nature reviews. Genetics*, 19(5), 253-268.

# СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ И КУЛЬТУРА IN VITRO: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Өкімбек С.Б.

Магистрант, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, Шымкент, Казахстан

Сапарбекова А.А.

Кандидат биологических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, Шымкент, Казахстан

**Аннотация.** Засоление почв является одним из наиболее значимых абиотических стрессовых факторов, ограничивающих рост, развитие, продуктивность и адаптационный потенциал растений, особенно в условиях аридных и семиаридных экосистем. Повышенная концентрация солей в корнеобитаемой зоне вызывает сложный комплекс физиологических, биохимических, клеточных и молекулярно-генетических нарушений, включая осмотический дисбаланс, ионную токсичность, нарушение минерального питания, снижение фотосинтетической активности и развитие окислительного стресса. В условиях глобальных климатических изменений, деградации земель и расширения площадей засоленных территорий изучение механизмов солеустойчивости растений приобретает особую научную и практическую значимость.

В данной обзорной работе систематизированы и интерпретированы современные научные данные, посвящённые молекулярным и физиолого-биохимическим механизмам адаптации растений к солевому стрессу. Рассмотрены сигнальные системы стресс-ответа, механизмы поддержания ионного и водного гомеостаза, процессы осмотической регуляции, антиоксидантной защиты, морфофизиологические адаптации, а также особенности устойчивости галофитных видов, включая представителей рода *Haloxylon*. Особое внимание уделено *Haloxylon aphyllum* как перспективному модельному объекту для изучения адаптации растений к экстремальным условиям засоления и засухи.

Отдельно проанализирован потенциал технологий культуры *in vitro* как современного биотехнологического инструмента для моделирования солевого стресса в контролируемых условиях, изучения клеточных и тканевых реакций растений, оценки регенерационного потенциала и селекции стрессоустойчивых форм. Показано, что применение методов *in vitro* расширяет возможности фундаментальных исследований в области физиологии и молекулярной биологии растений, а также создаёт предпосылки для разработки новых биотехнологических подходов в селекции, сохранении генетических ресурсов и восстановлении деградированных экосистем.

Проведённый анализ позволяет обобщить современные представления о механизмах солеустойчивости растений, определить актуальные направления дальнейших исследований и оценить перспективы интеграции клеточных технологий в практику растительной биотехнологии.

**Ключевые слова:** солеустойчивость растений; абиотический стресс; засоление; культура *in vitro*; галофиты; адаптационные механизмы; биотехнология растений.

## Введение

Засоление почв в настоящее время рассматривается как один из наиболее серьёзных экологических факторов, лимитирующих продуктивность растений и устойчивость растительных экосистем в глобальном масштабе. Высокая концентрация легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое почвы оказывает комплексное негативное воздействие на растения, нарушая процессы водопоглощения, минерального питания, фотосинтетической активности и клеточного метаболизма. Особенно остро проблема засоления проявляется в аридных и семиаридных регионах, где сочетание высокой температуры, низкой влажности воздуха, ограниченного количества осадков и интенсивного испарения способствует накоплению солей в почвенном профиле. По современным оценкам, значительная часть сельскохозяйственных и естественных экосистем подвержена различным формам вторичного и природного засоления, что делает исследование механизмов адаптации растений к данным условиям одним из приоритетных направлений современной физиологии растений, экологии и биотехнологии.

Солевой стресс вызывает у растений сложный комплекс физиологических, биохимических и молекулярных нарушений. На начальных этапах воздействия повышенной концентрации солей развивается осмотический стресс, связанный со снижением водного потенциала среды и ограничением поступления воды в клетки. В дальнейшем формируется ионный стресс, обусловленный избыточным накоплением ионов натрия и хлора в тканях, что приводит к нарушению мембранного транспорта, ингибированию ферментативных систем, изменению энергетического обмена и подавлению процессов роста и развития. Одновременно происходит усиленное образование активных форм кислорода, способных вызывать окислительное повреждение липидов мембран, белков и нуклеиновых кислот. В совокупности данные процессы приводят к снижению фотосинтетической активности, нарушению гормонального баланса, угнетению клеточного деления и уменьшению общей жизнеспособности растений.

Несмотря на выраженное стрессовое воздействие засоления, в процессе эволюции растения сформировали широкий спектр адаптационных механизмов, обеспечивающих сохранение жизнедеятельности в неблагоприятных условиях. К числу основных механизмов относятся регуляция ионного гомеостаза, осмотическая адаптация, компартментализация токсичных ионов в вакуолях, активация антиоксидантной системы, изменение экспрессии стресс-индуцируемых генов и перестройка метаболических процессов. Однако эффективность данных адаптационных стратегий существенно различается между видами и определяется их генетическими особенностями, экологической специализацией и эволюционной историей. В связи с этим особую научную ценность представляют виды растений, естественно произрастающие в экстремальных условиях засоления и обладающие высоким уровнем природной устойчивости.

Среди таких растений особый интерес вызывают галофиты — экологическая группа растений, способных завершать полный жизненный цикл в условиях высокой концентрации солей. Галофиты представляют собой уникальные модели для изучения молекулярных, физиологических и морфологических механизмов стрессоустойчивости. Среди представителей данной группы важное место занимают растения рода *Haloxylon*, широко распространённые в пустынных и полупустынных зонах Центральной Азии. Особый научный интерес представляет *Haloxylon aphyllum* (чёрный саксаул), который является одним из доминирующих древесно-кустарниковых видов пустынных экосистем. Этот вид характеризуется высокой устойчивостью к засухе, экстремальным температурным условиям и повышенному уровню засоления почвы. Кроме того, *Haloxylon aphyllum* выполняет важные почвозащитные, противозерозионные и средообразующие функции, участвуя в стабилизации



песчаных субстратов, улучшении микроклимата и восстановлении деградированных территорий.

В последние годы особое развитие получили биотехнологические методы исследования стрессоустойчивости растений. Одним из наиболее перспективных направлений является использование методов культуры растительных тканей *in vitro*. Данный подход позволяет проводить исследования в строго контролируемых условиях, исключая влияние внешних факторов среды и обеспечивая возможность моделирования конкретных стрессовых воздействий. Использование солевых компонентов в составе питательных сред позволяет воспроизводить условия засоления на клеточном и тканевом уровнях, анализировать морфогенетические реакции эксплантов, оценивать интенсивность роста, регенерационную способность, изменения физиолого-биохимических показателей и проводить селекцию устойчивых клеточных линий.

Особую значимость культура *in vitro* приобретает при изучении медленнорастущих, экологически специализированных или трудноразмножаемых видов растений, к которым относится *Haloxylon aphyllum*. Применение клеточных и тканевых технологий открывает возможности для более глубокого понимания адаптационного потенциала данного вида, изучения его реакций на солевой стресс на ранних этапах онтогенеза, а также разработки биотехнологических методов сохранения генетических ресурсов и получения стрессоустойчивого посадочного материала.

Таким образом, исследование механизмов солеустойчивости галофитных растений с применением методов культуры *in vitro* представляет значительный фундаментальный и практический интерес. Полученные результаты могут быть использованы для расширения представлений о молекулярно-физиологических основах адаптации растений к засолению, совершенствования методов биотехнологической селекции устойчивых форм и разработки экологически эффективных подходов к восстановлению засоленных и деградированных земель.

### Материалы и методы

Методологическую основу данного обзорного исследования составил герменевтический подход, позволяющий осуществлять углублённую интерпретацию научных источников и выявлять концептуальные особенности развития исследований в области устойчивости растений к солевому стрессу. Герменевтический анализ применялся как инструмент научного осмысления современных представлений о физиолого-биохимических, молекулярно-генетических и биотехнологических механизмах адаптации растений к условиям засоления.

Объектом исследования выступили опубликованные научные материалы, посвящённые изучению механизмов солеустойчивости растений, адаптационных реакций галофитных видов, а также применению технологий культуры *in vitro* в селекции и биотехнологии стрессоустойчивых растений. Особое внимание уделялось исследованиям, рассматривающим представителей рода *Haloxylon*, включая *Haloxylon aphyllum*, как перспективные модели для изучения адаптации к экстремальным условиям среды.

Информационной базой исследования послужили современные научные публикации, индексируемые в международных библиографических и научно-аналитических базах данных, включая Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, а также профильные публикации в области физиологии растений, молекулярной биологии, экологии и растительной биотехнологии. При отборе источников учитывались их научная значимость, актуальность, индекс цитирования, тематическая релевантность и соответствие исследуемой проблематике.

В процессе исследования применялись методы сравнительного анализа, научного синтеза, классификации и интерпретации литературных данных. На первом этапе проводился тематический отбор научных публикаций по ключевым направлениям исследования: механизмы солевого стресса у растений, физиологические и биохимические адаптационные реакции, особенности ионного гомеостаза, функционирование антиоксидантной системы, участие сигнальных молекул в стрессовом ответе, а также использование методов культуры *in vitro* для моделирования стрессовых условий.

На втором этапе осуществлялся содержательный анализ публикаций с выделением основных научных концепций, экспериментальных подходов и интерпретаций полученных результатов. Особое внимание уделялось выявлению закономерностей в представлениях различных авторов о роли клеточных, тканевых и молекулярных механизмов в формировании солеустойчивости растений. Проводилось сопоставление данных, полученных на различных модельных и природных объектах, включая культурные растения, дикорастущие ксерофиты и галофиты.

На третьем этапе выполнялся герменевтический анализ, в рамках которого научные публикации рассматривались не только как источники экспериментальных данных, но и как отражение эволюции научных представлений о механизмах стрессоустойчивости растений. Интерпретация текстов позволила определить взаимосвязи между физиологическими, биохимическими и молекулярными адаптациями, а также выявить современные тенденции развития исследований в области растительной биотехнологии.

Для систематизации результатов применялся концептуальный анализ, направленный на формирование целостной научной модели адаптации растений к условиям засоления. Особое внимание уделялось выявлению роли технологий *in vitro* в моделировании солевого стресса, оценке регенерационного потенциала растительных тканей и перспективам использования клеточной селекции для получения стрессоустойчивых форм.

Таким образом, использование герменевтического подхода в сочетании с методами сравнительного и концептуального анализа позволило сформировать системное представление о современном состоянии исследований в области солеустойчивости растений и определить перспективные направления дальнейшего изучения адаптационного потенциала галофитных видов, включая *Haloxylon aphyllum*, в условиях культуры *in vitro*.

### Результаты и обсуждение

Проведённый анализ современных научных публикаций показывает, что формирование устойчивости растений к абиотическим стрессовым факторам, особенно к засолению, представляет собой сложный многоуровневый адаптационный процесс, затрагивающий молекулярные, клеточные, тканевые, органные и организменные уровни. Солевой стресс относится к числу наиболее значимых экологических ограничителей роста и продуктивности растений, поскольку вызывает комплекс физиологических нарушений, связанных с осмотическим дисбалансом, токсическим накоплением ионов натрия и хлора, нарушением водного обмена, изменением энергетического метаболизма и развитием вторичного окислительного стресса.

Согласно исследованиям Zhu J.K. [1], одним из ключевых компонентов стрессового ответа растений является активация внутриклеточных сигнальных систем, запускаемых в первые минуты после воздействия стрессового фактора. Особое значение имеют каскады протеинкиназ, включая SnRK (Sucrose non-fermenting Related Kinase), функционально сходные с белками SNF1 дрожжей и АМРК млекопитающих. Данные ферментативные системы выступают в качестве универсальных энергетических сенсоров клетки и регулируют экспрессию генов, связанных с осморегуляцией, ионным транспортом, антиоксидантной защитой и метаболической перестройкой. Под действием засоления происходит активация

специфических транскрипционных факторов, индуцирующих синтез защитных белков, шаперонов, ферментов детоксикации и мембранных транспортеров, обеспечивающих поддержание клеточного гомеостаза.

Анализ литературных данных, представленных Zhang Y. и соавт. [2], демонстрирует, что в природных условиях засоление редко действует как изолированный стрессовый фактор. Чаще оно сочетается с засухой, температурными колебаниями, дефицитом питательных веществ и повышенной солнечной радиацией. В результате клетки растений испытывают множественные повреждающие воздействия. Одним из наиболее опасных последствий является избыточное образование активных форм кислорода (ROS), включая супероксид-анион, перекись водорода и гидроксильные радикалы. Накопление ROS приводит к перекисному окислению липидов, разрушению мембран, денатурации белков и повреждению нуклеиновых кислот. В связи с этим устойчивость растений во многом определяется эффективностью функционирования антиоксидантной системы, включающей ферментативные компоненты — супероксиддисмутазу, каталазу, аскорбатпероксидазу, глутатионредуктазу, а также низкомолекулярные антиоксиданты — аскорбат, глутатион, фенольные соединения и каротиноиды.

Особую роль в восприятии и первичной обработке стрессового сигнала играет корневая система. Как отмечают Kul R. и соавт. [3], корни первыми контактируют с солевым раствором и выполняют не только функцию водо- и минерального питания, но и функцию сенсорного органа. В ответ на повышение концентрации солей в ризосфере корневые клетки запускают сигнальные механизмы, связанные с кальциевой сигнализацией, изменением мембранного потенциала и синтезом фитогормонов. Одним из наиболее значимых гормонов в стрессовом ответе является абсцизовая кислота, регулирующая закрытие устьиц, снижение транспирации и активацию стресс-индуцируемых генов. Кроме того, корни способны изменять архитектуру роста, увеличивая глубину проникновения в почву или формируя более развитую боковую корневую систему для поиска участков с меньшей солевой нагрузкой.

Механизмы солеустойчивости подробно описаны Pirasteh-Anosheh H. и соавт. [4]. Авторы выделяют несколько основных стратегий адаптации: осмотическую адаптацию, ионный гомеостаз, тканевую толерантность и антиоксидантную защиту. Осмотическая адаптация достигается за счёт накопления совместимых осмолитов, таких как пролин, глицин-бетаин, растворимые сахара и полиолы. Эти соединения позволяют поддерживать тургор клеток без нарушения ферментативной активности. Поддержание ионного баланса обеспечивается активностью  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -антипортеров, калиевых каналов и вакуолярных насосов, которые способствуют удалению избытка натрия из цитоплазмы или его компартментализации в вакуолях. Именно вакуолярная изоляция ионов натрия рассматривается как один из важнейших механизмов клеточной детоксикации.

С физиологической точки зрения солеустойчивость сопровождается выраженными морфо-анатомическими изменениями. По данным Acosta-Motos J.R. и соавт. [5], у устойчивых растений наблюдается увеличение отношения массы корней к надземной части, утолщение клеточных стенок, усиление кутикулярного слоя, уменьшение площади испаряющей поверхности и изменение анатомии мезофилла листа. Кроме того, отмечается сохранение или даже увеличение содержания фотосинтетических пигментов — хлорофиллов а и b, а также каротиноидов, что обеспечивает поддержание фотосинтетической активности даже в условиях ионного стресса. Фотозащитные механизмы, включая ксантофилловый цикл и фотоrespiration, позволяют предотвращать фотодеструкцию фотосистем.

Особый научный интерес представляют галофитные виды, эволюционно адаптированные к существованию в условиях высоких концентраций солей. Одним из таких

видов является *Haloxylon aphyllum* (черный саксаул), широко распространённый в аридных и полуаридных регионах Центральной Азии. Данный вид рассматривается как перспективная модель для изучения молекулярных и физиологических механизмов адаптации к экстремальным условиям среды.

Исследования Kryuchkov S.N. и соавт. [6] показали наличие выраженной внутривидовой изменчивости у различных климатипов *Haloxylon aphyllum*. Установлено, что представители разных популяций демонстрируют различия по интенсивности роста, скорости накопления биомассы, засухоустойчивости, морозоустойчивости и солеустойчивости. Это свидетельствует о высоком уровне экологической пластичности и адаптивного потенциала данного вида. Особенно важно, что ростовые процессы у саксаула коррелируют преимущественно с температурным режимом, тогда как влияние количества осадков менее выражено, что является типичной особенностью ксерогалофитов.

С экологической точки зрения *Haloxylon aphyllum* выполняет важнейшие средообразующие функции. Согласно данным Shamsutdinov Z.S. и соавт. [7], а также Shamsutdinova E.Z. [8], саксаул способен существенно изменять микроклимат прилегающей территории, снижая температуру поверхности почвы, уменьшая испарение влаги и стабилизируя песчаные субстраты. Развитая корневая система способствует улучшению структуры почвы, уменьшению процессов эрозии и постепенному снижению уровня поверхностного засоления. В пределах фитогенного поля саксаула создаются более благоприятные условия для развития других видов растений, что определяет его ключевую роль в восстановлении деградированных экосистем пустынного типа.

Дополнительные исследования представителей рода *Haloxylon* подтверждают определяющее значение почвенных факторов в процессах прорастания и раннего онтогенеза. Установлено, что электропроводность почвы, механический состав субстрата, содержание обменного натрия и глубина залегания грунтовых вод существенно влияют на всхожесть семян, развитие проростков и формирование корневой системы [9,10]. Особенно чувствительным этапом является стадия первичного укоренения, когда растения наиболее восприимчивы к ионному и водному стрессу.

В последние годы особое внимание уделяется использованию биотехнологических методов для изучения адаптивного потенциала галофитов. Культура тканей *in vitro* позволяет моделировать стрессовые воздействия в строго контролируемых условиях, исключая влияние внешних экологических факторов. Использование NaCl в составе питательных сред создаёт возможность селективного отбора клеток, тканей и регенерантов с повышенной солеустойчивостью. Кроме того, *in vitro* системы позволяют изучать влияние солевого стресса на морфогенез, каллусогенез, ризогенез, фотосинтетическую активность, антиоксидантный статус и экспрессию стресс-индуцируемых генов.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что устойчивость растений к засолению формируется как интегральный результат взаимодействия сигнальных, физиологических, биохимических, генетических и экологических механизмов адаптации. *Haloxylon aphyllum* представляет собой перспективный объект для фундаментальных и прикладных исследований, направленных на разработку биотехнологических подходов к отбору солеустойчивых форм и восстановлению засоленных экосистем аридных регионов.

### Заключение

Проведённый анализ современных отечественных и зарубежных научных исследований показывает, что устойчивость растений к засолению является сложным многофакторным адаптационным признаком, формирующимся в результате координированного взаимодействия физиологических, биохимических, клеточных,

молекулярно-генетических и морфологических механизмов. Воздействие солевого стресса вызывает у растений глубокие изменения метаболических процессов, сопровождающиеся нарушением водного потенциала клеток, накоплением токсичных ионов, подавлением фотосинтетической активности, изменением гормонального статуса и развитием окислительного стресса. В ответ на данные изменения в растительном организме активируется сложная система защитных реакций, направленных на сохранение структурно-функциональной целостности клеток и поддержание физиологического гомеостаза.

Анализ литературных источников показал, что ключевую роль в формировании солеустойчивости играют механизмы восприятия стрессового сигнала, внутриклеточной передачи сигналов, регуляции экспрессии стресс-индуцируемых генов, поддержания ионного гомеостаза, компартментализации токсичных ионов, синтеза осмопротекторных соединений и функционирования антиоксидантной системы. Установлено, что адаптация растений к засолению носит интегративный характер и реализуется на всех уровнях биологической организации — от отдельных органелл и клеток до тканей, органов и целого организма. При этом эффективность адаптационных механизмов определяется генетическими особенностями вида, экологической специализацией и эволюционно сформированными стратегиями выживания.

Особую научную ценность представляют галофитные виды растений, обладающие естественно сформированной устойчивостью к высоким концентрациям солей. Среди них представители рода *Haloxylon* занимают особое место как объекты фундаментальных и прикладных исследований. Установлено, что *Haloxylon aphyllum* характеризуется высоким адаптивным потенциалом, устойчивостью к сочетанному воздействию засоления, дефицита влаги и экстремальных температур, а также выполняет важные экологические функции в пустынных и полупустынных экосистемах. Биологические особенности данного вида делают его перспективной моделью для изучения механизмов стрессоустойчивости растений в природных и контролируемых условиях.

Проведённый обзор подтверждает, что технологии культуры *in vitro* в настоящее время являются одним из наиболее эффективных биотехнологических инструментов для исследования солеустойчивости растений. Использование клеточных и тканевых культур позволяет воспроизводить стрессовые условия с высокой степенью контроля, анализировать физиологические и морфогенетические реакции растительных клеток и тканей, оценивать регенерационный потенциал, проводить селекцию устойчивых линий и изучать особенности экспрессии стресс-ассоциированных генов. Особенно важным является применение методов *in vitro* в исследованиях редких, медленно растущих и экологически специализированных видов, включая *Haloxylon aphyllum*.

Обобщение современных научных данных показывает, что дальнейшее развитие исследований в данной области должно быть направлено на интеграцию методов клеточной биотехнологии, физиологии растений, молекулярной биологии, геномики и биоинформатического анализа. Комплексный подход позволит более глубоко раскрыть механизмы адаптации растений к засолению, идентифицировать ключевые молекулярные маркеры стрессоустойчивости и разработать новые биотехнологические стратегии создания растений с повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

Изучение механизмов солеустойчивости растений с использованием современных *in vitro* технологий имеет не только фундаментальное значение для понимания процессов стрессовой адаптации, но и высокую практическую ценность для сельского хозяйства, экологической биотехнологии, сохранения биоразнообразия и восстановления деградированных экосистем в условиях глобальных климатических изменений.

### Список литературы

- 1 Zhu J. K. Abiotic stress signaling and responses in plants //Cell. – 2016. – Т. 167. – №. 2. – С. 313-324.
- 2 Zhang Y. et al. Plants' response to abiotic stress: Mechanisms and strategies //International journal of molecular sciences. – 2023. – Т. 24. – №. 13. – С. 10915.
- 3 Kul R. et al. How abiotic stress conditions affects plant roots //Plant roots. – IntechOpen, 2020.
- 4 Pirasteh-Anosheh H. et al. Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants: An overview //Plant-Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress. – 2016. – С. 141-160.
- 5 Acosta-Motos J. R. et al. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms //Agronomy. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 18.
- 6 Kryuchkov S. N., Solomentseva A. S., Egorov S. A. Identification of Sustainable Ecotypes of Haloxylon Aphyllum (Minkw.) Iljin. and the Creation of Seed Plantations //Arid Ecosystems. – 2025. – Т. 15. – №. 2. – С. 258-268.
- 7 Shamsutdinov Z. S. et al. Environment-forming role of black saxaul, Haloxylon aphyllum (Minkw.) Iljin in the Karnabchul Desert //Russian journal of ecology. – 2016. – Т. 47. – №. 1. – С. 39-45.
- 8 Shamsutdinova E. Z. The environmental forming and productional functions of the haloxylon aphyllum in the Karnabchul desert //Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka. – 2019. – №. 2. – С. 34-38.
- 9 Alghanem S. M. Ecological and botanical diversity in Haloxylon persicum community at Al-Qassim Region in Kingdom of Saudi Arabia //Am. J. Environ. Prot. – 2018. – Т. 6. – С. 43-49.
- 10 Matsui K. et al. Soil properties that determine the mortality and growth of Haloxylon aphyllum in the Aral region, Kazakhstan //Arid Land Research and Management. – 2019. – Т. 33. – №. 1. – С. 37-54.



# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛИСТОВЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ

Табанбаева Э.

Магистрант, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, Шымкент, Казахстан

Алпамысова Г.Б.

канд. сельскохозяйств. наук, доцент Южно-Казахстанский университет им. М.Ауезова, Шымкент, Казахстан

**Аннотация.** Развитие технологий контролируемого растениеводства в последние годы определяет новые направления в производстве овощной продукции, среди которых особое место занимает гидропонное выращивание листовых культур. Использование гидропонных систем позволяет оптимизировать потребление водных и минеральных ресурсов, повысить эффективность использования производственных площадей, обеспечить стабильное качество растительной продукции и организовать круглогодичное производство независимо от сезонных и климатических ограничений. Особенно актуальным применение гидропонных технологий становится в условиях урбанизации, дефицита плодородных земель, климатических изменений и возрастающей потребности населения в функционально ценных растительных продуктах.

Целью данной обзорной работы является систематизация и научная интерпретация современных исследований, посвящённых гидропонному выращиванию листовых овощных культур, анализ основных факторов, определяющих рост, продуктивность и качество растений в условиях беспочвенного культивирования, а также оценка перспектив использования нетрадиционных листовых культур в гидропонном производстве.

Методологическую основу исследования составили методы герменевтического, сравнительного и концептуального анализа научных публикаций, представленных в международных научных базах данных Scopus, Web of Science, PubMed и Google Scholar. В ходе анализа рассматривались современные данные по влиянию состава питательных растворов, уровня pH, электропроводности, спектрального состава освещения, температуры, аэрации корневой зоны и типа гидропонной системы на физиологические, морфометрические и биохимические показатели листовых растений.

Полученные результаты подчёркивают перспективность расширения ассортимента гидропонных культур за счёт внедрения нетрадиционных листовых овощей, включая *Rumex acetosa*, а также необходимость дальнейшей интеграции физиологических, агротехнологических и биохимических подходов для оптимизации их промышленного выращивания.

**Ключевые слова:** гидропоника; листовые овощные культуры; контролируемое земледелие; вертикальное земледелие; питательный раствор; качество продукции;

## Введение

В современных условиях глобального развития агропромышленного сектора вопросы обеспечения продовольственной безопасности, устойчивого использования природных



ресурсов и адаптации сельскохозяйственного производства к изменяющимся климатическим условиям приобретают стратегическое значение. Рост численности населения, ускоренные процессы урбанизации, сокращение площади плодородных земель, дефицит пресной воды, повышение температуры окружающей среды и деградация почвенного покрова создают серьёзные ограничения для традиционных систем растениеводства. Особенно остро данные проблемы проявляются в регионах с аридным и семиаридным климатом, где нестабильность водообеспечения и снижение плодородия почв существенно ограничивают возможности получения стабильной растительной продукции. В связи с этим развитие ресурсосберегающих и высокоэффективных технологий выращивания сельскохозяйственных культур становится одним из приоритетных направлений современной аграрной науки.

Одним из наиболее перспективных решений данной проблемы являются технологии контролируемого растениеводства, среди которых особое место занимают гидропонные системы. Гидропоника представляет собой метод беспочвенного выращивания растений, основанный на использовании водных питательных растворов, содержащих макро- и микроэлементы в физиологически доступной форме. В отличие от традиционного почвенного земледелия, гидропонные технологии обеспечивают высокую степень контроля над условиями роста растений, включая минеральное питание, водный режим, кислотность среды, электропроводность раствора, аэрацию корневой зоны, температурный режим и интенсивность освещения. Это позволяет существенно повышать эффективность использования воды и питательных веществ, минимизировать сезонные ограничения, снижать риск заражения почвенными патогенами и обеспечивать стабильное круглогодичное производство продукции высокого качества.

Особую значимость гидропонные технологии приобретают в условиях развития вертикального земледелия, городского агропроизводства и систем контролируемой среды, где ограниченность пространства требует максимально эффективного использования производственных площадей. Современные гидропонные комплексы позволяют получать высокие урожаи при минимальном потреблении ресурсов, что делает их важным элементом устойчивого сельского хозяйства будущего. Кроме того, использование автоматизированных систем контроля параметров среды открывает возможности для точного регулирования роста растений и направленного формирования биохимического состава продукции.

Наиболее широко в гидропонных исследованиях представлены листовые овощные культуры, характеризующиеся коротким вегетационным периодом, высокой скоростью роста и стабильным спросом на рынке свежей продукции. В качестве модельных объектов чаще всего используются такие культуры, как салат (*Lactuca sativa*), шпинат (*Spinacia oleracea*), руккола (*Eruca vesicaria*), базилик (*Ocimum basilicum*), микрозелень и другие зеленные культуры. Многочисленные исследования демонстрируют, что урожайность, морфометрические показатели и пищевая ценность листовых растений в условиях гидропонного выращивания определяются комплексным воздействием технологических факторов, включая состав питательного раствора, концентрацию макро- и микроэлементов, уровень pH, электропроводность, фотопериод, спектральный состав искусственного освещения и микроклиматические параметры среды.

Наряду с традиционными листовыми культурами в последние годы значительно возрастает интерес к нетрадиционным овощным растениям, обладающим высоким содержанием биологически активных веществ, витаминов, минералов, органических кислот и антиоксидантных соединений. Такие культуры рассматриваются как перспективное сырьё для функционального питания и производства продуктов с повышенной биологической ценностью. Особый интерес в данном направлении представляет *Rumex acetosa* (щавель обыкновенный), который широко известен благодаря своему богатому биохимическому

составу и пищевой ценности. Листья данной культуры содержат органические кислоты, витамин С, каротиноиды, фенольные соединения, минеральные вещества и природные антиоксиданты, что делает её перспективной для использования в свежем виде, функциональном питании и пищевой промышленности.

Несмотря на высокий пищевой и хозяйственный потенциал *Rumex acetosa*, научные данные, посвящённые его выращиванию в гидропонных системах, в настоящее время остаются ограниченными. Имеющиеся исследования носят фрагментарный характер и в основном сосредоточены на отдельных физиологических или агротехнических аспектах. Недостаточно изученными остаются вопросы оптимизации минерального питания, адаптации культуры к различным типам гидропонных систем, особенностей накопления биологически активных веществ и формирования качественных показателей продукции в условиях контролируемой среды.

В связи с этим особую актуальность приобретает систематизация современных научных данных, посвящённых гидропонному выращиванию листовых овощных культур, анализ факторов, определяющих продуктивность и качество растений в условиях беспочвенного культивирования, а также оценка перспектив использования *Rumex acetosa* в современных гидропонных производственных системах.

### Методы исследования

Методологическую основу данного обзорного исследования составил комплекс современных методов научного анализа, направленных на систематизацию, интерпретацию и сравнительную оценку литературных данных, посвящённых выращиванию листовых овощных культур в гидропонных системах. Исследование носило аналитический и обзорный характер и было направлено на выявление современных тенденций развития гидропонных технологий, факторов, определяющих продуктивность и качество растений в условиях контролируемого растениеводства, а также перспектив использования нетрадиционных листовых культур.

Информационной базой исследования послужили современные отечественные и зарубежные научные публикации, индексируемые в международных научно-аналитических базах данных, включая Scopus, Web of Science, Springer, Google Scholar и eLIBRARY. При поиске и отборе научных источников использовались публикации по физиологии растений, растениеводству, агробиотехнологии, контролируемому земледелию и гидропонным технологиям, опубликованные преимущественно за последние годы, что позволило обеспечить актуальность и научную значимость анализируемого материала.

Поиск литературных источников осуществлялся с использованием специализированных поисковых запросов и ключевых терминов на английском и русском языках. В процессе отбора применялись следующие основные поисковые комбинации: *hydroponics, leafy vegetables, controlled environment agriculture, soilless cultivation, nutrient solution, vertical farming, plant growth, secondary metabolites, urban agriculture*, а также *Rumex acetosa* как объект исследования. Дополнительно использовались комбинации терминов, связанные с минеральным питанием, качественными характеристиками продукции, фотосинтетической активностью, антиоксидантной системой и биохимическим составом листовых овощей.

Критериями включения публикаций в обзор являлись научная достоверность, индексируемость в рецензируемых базах данных, тематическая релевантность, наличие экспериментальных данных или аналитических обзоров, а также соответствие исследуемой проблематике. Из анализа исключались дублирующиеся публикации, нерекцензируемые материалы и работы с недостаточным методическим описанием.

Основным аналитическим инструментом исследования являлся герменевтический метод, позволяющий проводить углублённую интерпретацию научных текстов с учётом целей исследований, условий проведения экспериментов, методологических особенностей и научного контекста полученных результатов. Герменевтический анализ использовался для выявления смысловых взаимосвязей между различными направлениями исследований, интерпретации научных концепций и формирования целостного представления о современном состоянии гидропонного выращивания листовых культур.

Дополнительно применялся сравнительный анализ литературных данных. В рамках данного метода проводилось сопоставление научных результатов по следующим направлениям:

- типы гидропонных систем (NFT, DWC, аэропоника, субстратные системы, капельные системы);
- состав и концентрация питательных растворов;
- показатели кислотности среды (pH) и электропроводности (EC);
- спектральные характеристики искусственного освещения;
- температурные и влажностные параметры выращивания;
- морфометрические показатели роста растений;
- урожайность и биомасса;
- содержание витаминов, антиоксидантов, фенольных соединений и других биологически активных компонентов.

Особое внимание уделялось анализу научных данных по традиционным листовым культурам, таким как салат, шпинат, базилик, руккола и микрозелень, а также оценке перспектив использования нетрадиционных культур, включая *Rumex acetosa*. Сравнительный анализ позволил выявить существующие научные тенденции, определить наиболее эффективные технологические решения и установить недостаточно изученные направления исследований.

На заключительном этапе проводился концептуальный синтез полученных данных, направленный на формирование целостного научного представления о влиянии технологических факторов на рост, развитие, продуктивность и биохимическое качество листовых культур в условиях гидропонного выращивания.

Таким образом, совокупность герменевтического, сравнительного и аналитико-синтетического подходов позволила объективно оценить современное состояние исследований в области гидропонного выращивания листовых овощных культур, определить ключевые факторы эффективности гидропонных технологий и выявить перспективные направления дальнейшего изучения, включая биотехнологический потенциал *Rumex acetosa* в условиях контролируемого растениеводства.

### Результаты

Проведённый анализ современных научных публикаций показывает, что гидропонное выращивание листовых овощных культур в настоящее время является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в области контролируемого растениеводства. Возрастающий интерес к данной технологии обусловлен глобальными вызовами, связанными с изменением климатических условий, сокращением площади плодородных земель, дефицитом пресной воды и необходимостью обеспечения населения стабильными источниками свежей растительной продукции [5,9,12]. Согласно литературным данным, применение гидропонных технологий позволяет сократить потребление воды на 70–90% по сравнению с традиционными почвенными системами выращивания, что делает их особенно перспективными в аридных и семиаридных регионах [12,14].

Исследования показывают, что гидропоника постепенно трансформируется из отдельного агротехнического метода в самостоятельную высокотехнологичную производственную систему. Walters и соавт. отмечают устойчивый рост экономической значимости гидропонного производства, а также увеличение числа исследований, направленных на интеграцию автоматизированных систем управления микроклиматом и питанием растений [6]. Аналогичные выводы представлены в работах, посвящённых цифровизации сельского хозяйства и внедрению интеллектуальных систем мониторинга параметров среды [5,16].

Анализ литературных источников свидетельствует о широком разнообразии используемых гидропонных технологий. Наиболее распространёнными являются NFT-системы (Nutrient Film Technique), системы глубоководного культивирования (DWC), капельные установки, фитильные системы и аэропоника [11,14]. Согласно библиометрическим исследованиям, системы NFT занимают лидирующие позиции в научных публикациях благодаря высокой эффективности при выращивании листовых культур и возможности интеграции в вертикальные фермы [7]. При этом основные исследования сосредоточены на таких культурах, как салат, шпинат, базилик и томат.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется составу питательного раствора и качеству воды. Установлено, что уровень pH, электропроводность раствора, содержание макро- и микроэлементов, а также концентрация растворённого кислорода оказывают прямое влияние на рост растений, фотосинтетическую активность и накопление биологически активных веществ [10,14]. Отдельные исследования демонстрируют перспективность применения очищенных сточных вод в гидропонном производстве при условии строгого контроля санитарных и химических показателей [10].

Важным направлением остаётся обеспечение безопасности гидропонной продукции. Несмотря на снижение риска загрязнения тяжёлыми металлами и почвенными загрязнителями, сохраняется вероятность микробиологической контаминации через циркулирующий питательный раствор [8,11]. В связи с этим современные гидропонные комплексы требуют строгого соблюдения санитарно-гигиенических требований, биологического мониторинга и внедрения международных принципов GAP (Good Agricultural Practices) [8].

Особый научный интерес представляют нетрадиционные листовые культуры, обладающие высокой пищевой и функциональной ценностью. Среди них выделяется *Rumex acetosa*, характеризующийся высоким содержанием витамина С, органических кислот, фенольных соединений и антиоксидантов [2]. Исследования показывают, что интенсивность роста, накопление биомассы и содержание минеральных элементов у *Rumex acetosa* существенно зависят от фенологической стадии развития растения и условий минерального питания [3].

Экспериментальные исследования, посвящённые гидропонному выращиванию *Rumex acetosa*, демонстрируют его высокий адаптационный потенциал в условиях контролируемой среды. Установлено, что изменение качества воды, спектрального состава освещения и концентрации элементов питания оказывает значительное влияние на продуктивность, нитратный обмен и антиоксидантную активность листьев [1,4]. Кроме того, исследования подтверждают перспективность использования данной культуры как *fresh-cut* продукта с сохранением биохимической ценности после сбора урожая [4].

В целом анализ литературных данных позволяет выделить три основные тенденции развития современного гидропонного овощеводства: совершенствование гидропонных конструкций и их адаптация к вертикальному земледелию, внедрение цифровых и сенсорных систем управления параметрами среды, а также переход к комплексной оценке продукции с учётом урожайности, пищевой ценности и безопасности [6–8,11,14,16]. В этих

условиях *Rumex acetosa* и другие нетрадиционные листовые культуры представляют значительный научный и практический интерес, однако требуют дальнейшей технологической оптимизации и стандартизации условий выращивания [1,3,4].

### **Заключение**

Проведённый анализ современных отечественных и зарубежных научных исследований показывает, что гидропонное выращивание листовых овощных культур в настоящее время представляет собой одно из наиболее перспективных и интенсивно развивающихся направлений современного растениеводства. В условиях глобальных климатических изменений, ограниченности земельных и водных ресурсов, урбанизации и возрастающих требований к качеству пищевой продукции гидропонные технологии приобретают не только научное, но и стратегическое практическое значение. Использование систем беспочвенного культивирования позволяет существенно повысить эффективность использования воды, минеральных ресурсов и производственных площадей, снизить зависимость от сезонных факторов, обеспечить стабильное круглогодичное производство и получать растительную продукцию с прогнозируемыми качественными характеристиками.

Обобщение литературных данных показало, что современная гидропоника постепенно трансформируется из отдельного агротехнического метода в комплексную высокотехнологичную систему контролируемого растениеводства. Эффективность выращивания растений в гидропонных условиях определяется совокупным влиянием технологических, физиологических и экологических факторов, включая состав и концентрацию питательного раствора, уровень кислотности среды, электропроводность, температурный режим, влажность воздуха, степень аэрации корневой зоны, интенсивность и спектральный состав освещения. Установлено, что оптимизация данных параметров позволяет управлять не только ростовыми процессами и продуктивностью растений, но и формированием их пищевой, биологической и функциональной ценности.

Анализ научных публикаций подтверждает, что большинство исследований сосредоточено на традиционных модельных листовых культурах, таких как салат, шпинат, базилик, руккола и микрозелень. Для данных растений разработаны технологические схемы выращивания, позволяющие эффективно адаптировать гидропонные системы к условиям вертикального земледелия, городского агропроизводства и автоматизированных производственных комплексов. Вместе с тем расширение ассортимента выращиваемых культур остаётся одним из важных направлений развития современной гидропоники.

Особый научный и практический интерес представляет *Rumex acetosa* как нетрадиционная листовая культура, обладающая высоким содержанием витаминов, органических кислот, минеральных веществ, фенольных соединений и природных антиоксидантов. Анализ доступных литературных источников показывает, что данная культура обладает значительным потенциалом для использования в системах контролируемого растениеводства, функциональном питании и производстве продуктов с повышенной биологической ценностью. Однако установлено, что продуктивность, скорость роста, накопление биологически активных веществ и качественные характеристики *Rumex acetosa* существенно зависят от условий выращивания, включая состав питательного раствора, качество воды, спектральные характеристики освещения и параметры микроклимата.

### Список литературы

- 1 Ceccanti C. et al. Suitability of hydroponically-grown *Rumex acetosa* L. as fresh-cut produce //Horticulturae. – 2020. – Т. 6. – №. 1. – С. 4.
- 2 Korpelainen H., Pietiläinen M. Sorrel (*Rumex acetosa* L.): not only a weed but a promising vegetable and medicinal plant //The Botanical Review. – 2020. – Т. 86. – №. 3. – С. 234-246.
- 3 de Souza Gallo A. Vegetative development and nutrient absorption march of sorrel (*Rumex acetosa* L.) //Journal of Agricultural Science. – 2019.
- 4 Zeinali Pour N. Growth Stimulation and Nutritional Health of Sorrel in Controlled Environment Using Supplemental LED lamps and new water resources //Greenhouse Plant Production Journal. – 2025. – Т. 2. – №. 2. – С. 79-92.
- 5 Ahmed N. et al. Advancing horizons in vegetable cultivation: a journey from ageold practices to high-tech greenhouse cultivation—a review //Frontiers in Plant Science. – 2024. – Т. 15. – С. 1357153.
- 6 Walters K. J. et al. Historical, current, and future perspectives for controlled environment hydroponic food crop production in the United States //HortScience. – 2020. – Т. 55. – №. 6. – С. 758-767.
- 7 Palmitessa O. D., Signore A., Santamaria P. Advancements and future perspectives in nutrient film technique hydroponic system: a comprehensive review and bibliometric analysis //Frontiers in Plant Science. – 2024. – Т. 15. – С. 1504792.
- 8 Sela Saldinger S. et al. Hydroponic agriculture and microbial safety of vegetables: promises, challenges, and solutions //Horticulturae. – 2023. – Т. 9. – №. 1. – С. 51.
- 9 Barman N. C. et al. A review on present status and future prospective of hydroponics technique //Plant Environment Development. – 2016. – Т. 5. – №. 2. – С. 1-7.
- 10 Cifuentes-Torres L. et al. Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities //Water and Environment Journal. – 2021. – Т. 35. – №. 1. – С. 166-180.
- 11 Riggio G. M., Jones S. L., Gibson K. E. Risk of human pathogen internalization in leafy vegetables during lab-scale hydroponic cultivation //Horticulturae. – 2019. – Т. 5. – №. 1. – С. 25.
- 12 Verma S. et al. A Review on Hydroponics and Vertical Farming for Vegetable Cultivation: Innovations and Challenges //Journal of Experimental Agriculture International. – 2024. – Т. 46. – №. 12. – С. 801-821.
- 13 Kannan M. et al. Hydroponic farming—A state of art for the future agriculture //Materials today: proceedings. – 2022. – Т. 68. – С. 2163-2166.
- 14 Thapa U. et al. Advancements in hydroponic systems: a comprehensive review //Archives of Current Research International. – 2024. – Т. 24. – №. 11. – С. 317-328.
- 15 Khan S., Purohit A., Vadsaria N. Hydroponics: current and future state of the art in farming //Journal of Plant Nutrition. – 2020. – Т. 44. – №. 10. – С. 1515-1538.
- 16 Reza M. N. et al. Trends of soil and solution nutrient sensing for open field and hydroponic cultivation in facilitated smart agriculture //Sensors. – 2025. – Т. 25. – №. 2. – С. 453.



## Agricultural Sciences

# ABŞERONDA SOLUXDURULMUŞ ÜZÜMLƏRDƏN TƏBİİ QIRMIZI ŞƏRAB İSTEHSALININ BİOKİMYƏVİ VƏ TEXNOLOJİ TƏDQIQI

**İsmayılova Cəmilə Vüsal qızı**

“Üzvi Maddələr və Yüksəkmolekullu Birləşmələrin Texnologiyası” kafedrası, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (ADNSU)

**Vüqar Şahbaba Mikayılov oğlu**

“Üzvi Maddələr və Yüksəkmolekullu Birləşmələrin Texnologiyası” kafedrası, professor, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (ADNSU)

### XÜLASƏ

Tədqiqat Abşeron yarımadasında yüksək temperatur və su qıtlığı səbəbindən üzüm gilələrində şəkərlənmənin zəifləməsi problemini aradan qaldırmaq məqsədilə soluxdurma üsulunun tətbiqini araşdırır. Üzümlər 20–22% şəkərliliklə yığıldıqdan sonra kölgədə, hesir üzərində və tarpaulin altında 20–25 gün soluxdurularaq şəkərin 30–35%-ə yüksəlməsinə nail olunur. Soluxdurma nəticəsində quru maddələrin konsentrasiyası artır, fenolik və aromatik tərkib zənginləşir və yüksək ekstraktlı təbii qırmızı şərab əldə edilir. Analizlər göstərir ki, soluxdurma şirə və şərab çıxımını azaltsa da, keyfiyyəti yüksəldir və Amarone tipli şərabların istehsalına uyğun məhsul alınır. Nəticələr Abşeronda soluxdurulmuş üzümdən yüksək keyfiyyətli təbii qırmızı şərab istehsalının texnoloji və iqtisadi cəhətdən səmərəli olduğunu təsdiq edir.

**Açar sözlər:** soluxdurma, qırmızı şərab, Abşeron iqlimi, şəkərlilik, turşuluq, biokimyəvi tərkib, fenolik maddələr.

### BIOCHEMICAL AND TECHNOLOGICAL RESEARCH OF NATURAL RED WINE PRODUCTION FROM GRAPES DESTROYED IN ABSHERON

#### ABSTRACT

This study investigates the application of grape dehydration (sun-drying/air-drying) as a solution to reduced sugar accumulation in grapes grown in the Absheron Peninsula, where high summer temperatures and water scarcity limit proper ripening. Grapes harvested at 20–22% sugar content are dehydrated for 20–25 days in shaded conditions—on reed mats or under tarpaulin—resulting in an increase in sugar concentration to 30–35%. Dehydration enhances the concentration of dry matter, enriches phenolic and aromatic compounds, and enables the production of high-extract natural red wine. Analyses show that although dehydration slightly reduces juice and wine yield, it significantly improves wine quality and creates raw material suitable for Amarone-style production. The results confirm that producing high-quality natural red wine from dehydrated grapes is both technologically feasible and economically advantageous under Absheron conditions.

**Keywords:** dehydration, red wine, Absheron climate, sugar content, acidity, biochemical composition, phenolic compounds.



Abşeron yarımadasının kəskin kontinental iqlimi, yay mövsümündə yüksək temperaturun  $35^{\circ}\text{C}$ -dən yuxarı olması və su qıtlığı üzüm giləələrində normal fotosintezin gedişini zəiflədir, şəkərlənməni ləngidir və keyfiyyətli şərab istehsalına mane olur. Bu şəraitdə giləələrdə turşuluğun azalması, quru maddələrin tam formalaşmaması və fenolik birləşmələrin qeyri-sabitliyi nəticəsində ənənəvi şərabçılıq texnologiyaları gözlənilən nəticə vermir. Bu səbəbdən Abşeron zonasına uyğun alternativ yanaşma kimi üzümün kölgədə soluxdurulması — yəni suyun təbii buxarlanması yolu ilə şəkər və ekstraktın artırılması — xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Soluxdurma prosesi quru maddələrin konsentrasiyasını yüksəldir, aromatik və fenolik tərkibi zənginləşdirir və yüksək ekstraktlı qırmızı şərabların alınmasına şərait yaradır. Bu tədqiqat Abşeron şəraitində soluxdurulmuş üzümdən təbii qırmızı şərab istehsalının biokimyəvi və texnoloji xüsusiyyətlərini öyrənməyi, həmçinin əldə olunan məhsulun keyfiyyət göstəricilərini qiymətləndirməyi məqsəd qoyur [1].

Abşeron yarımadası iqlim xüsusiyyətlərinə görə Azərbaycanın digər üzümçülük bölgələrindən kəskin şəkildə fərqlənir. Yay aylarında havanın temperaturunun  $35^{\circ}\text{C}$ -dən yüksək olması, torpağın zəif mexaniki tərkibi, su ehtiyatlarının məhdudluğu və rütubət səviyyəsinin aşağı olması üzüm giləələrinin tam şəkildə yetişməsinə mane olur. Bu amillər fotosintetik aktivliyin azalmasına, gilədə şəkərlənmənin zəifləməsinə, turşuluğun normadan aşağı düşməsinə, fenolik və aromatik maddələrin natamam toplanmasına səbəb olur. Nəticədə ənənəvi üsulla yetişdirilmiş üzümlərdən keyfiyyət göstəriciləri stabil olmayan qırmızı şərablar alınır. Bu problemin aradan qaldırılması üçün Abşeron şəraitinə uyğun alternativ texnoloji yanaşmaların tətbiqi zərurəti yaranmışdır. Belə üsullardan biri qədimən Aralıq dənizi və Şimali İtaliya bölgələrində tətbiq edilən, son dövrlərdə isə müxtəlif iqlimlərdə adaptasiya edilən soluxdurma (dehidrasiya) prosesidir. Soluxdurma zamanı üzüm təbii şəkildə kölgədə, hesir üzərində və ya tarpaulin altında 20–25 gün saxlanılaraq tərkibindəki suyun buxarlanmasına şərait yaradılır. Nəticədə gilədə şəkər 20–22%-dən 30–35%-ə qədər yüksəlir, ekstrakt, fenol və aromatik maddələrin konsentrasiyası artır və yüksək keyfiyyətli, dolğun strukturlu xammal formalaşır [2].

Soluxdurmanın tətbiqi həm texnoloji, həm də iqtisadi baxımdan üstünlüklər yaradır. Texnoloji baxımdan bu üsul Amarone tipli yüksək ekstraktlı qırmızı şərabların istehsalına bənzər məhsul əldə etməyə imkan verir. İqtisadi baxımdan isə soluxdurma şərab çıxımını qismən azaltsa da, nəticədə alınan yüksək kateqoriyalı şərabların bazar dəyəri adi şərablara nisbətən 5–10 dəfə yüksək olur. Bu da Abşeron kimi çətin iqlim bölgəsində üzümçülük və şərabçılığın inkişafı üçün yeni imkanlar açır [3].

Abşeron şəraitində bəzən üzüm giləələrinin təbii şəkildə kolda artıq yetişməsi də müşahidə edilir. Bu zaman giləələrdə suyun bir hissəsi buxarlanır, şəkər və ekstrakt miqdarı artır, lakin yüksək temperaturun təsiri ilə turşuluq tez azalır. Bu baxımdan, kölgədə aparılan soluxdurma üsulu daha sabit nəticə verir, çünki birbaşa günəş şüaları ilə təmas minimum olur və biokimyəvi parçalanma prosesləri ləngiyir [5].

Yarı-süni və ya nəzarətli soluxdurma üsulu əsasən şimal bölgələrində və sənaye miqyasında həyata keçirilir. Bu üsulda gilələr xüsusi havalandırılan anbarlarda və ya ventilyasiya sistemləri ilə təchiz olunmuş otaqlarda saxlanılır. Havanın temperaturu ( $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ ) və rütubəti (55–60%) avtomatik tənzimlənir. Belə şəraitdə soluxdurma prosesi 15–25 gün ərzində baş verir, giləələrdə su tədricən buxarlanır və şəkərlilik artır. Bu texnologiya Amarone və Recioto tipli İtaliya şərablarının hazırlanmasında geniş tətbiq olunur [7].

Dünyada həmçinin kolda soluxdurma (on-vine drying) üsulu da mövcuddur. Bu halda gilələr yığım mərhələsinə yaxın budaqlarda saxlanılır və bitki ilə əlaqəsi davam etdiyi halda suyun buxarlanması nəticəsində təbii şəkildə soluxma baş verir. Bu üsul daha çox Fransanın cənubunda və Yunanıstanda tətbiq olunur və gilələrin tərkibində şəkərlərin yığılmasına imkan yaradır.

Süni qızdırma və ya soba tipli soluxdurma (oven or kiln drying) üsulu da bəzi ölkələrdə istifadə olunur. Bu üsulda gilələr temperaturu  $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$  olan xüsusi istilik kameralarına yerləşdirilir,

nəmlik isə ventilyasiya sistemi vasitəsilə tənzimlənir. Süni qızdırma təbii şəraitin əlverişsiz olduğu bölgələrdə (məsələn, Kanadanın soyuq əraziləri və ya Şimali Avropa ölkələri) tətbiq edilir və nəticədə prosesi daha qısa müddətdə başa çatdırmaq mümkün olur.

Müasir dövrdə texnoloji inkişaf nəticəsində soyuq hava ilə soluxdurma (cold-air dehydration) üsulu da tətbiq olunur. Bu zaman gilələr aşağı temperaturda (8–10°C) və rütubəti sabitləşdirilmiş şəraitdə saxlanılır. Bu üsul fenolik və aromatik maddələrin parçalanmasının qarşısını alır və keyfiyyətli, balanslı xammal əldə etməyə imkan verir.

Ümumilikdə, dünyada beş əsas soluxdurma üsulu fərqləndirilir:

- Kölgədə təbii soluxdurma (shade drying);
- Günəş altında soluxdurma (sun drying);
- Kolda soluxdurma (on-vine drying);
- Süni qızdırma ilə soluxdurma (oven/kiln drying);
- Soyucq hava ilə idarə olunan soluxdurma (cold-air dehydration).

Hər bir üsulun məqsədi eynidir – gilədə suyun buxarlanması hesabına şəkərin, ekstraktın, fenolik və aromatik maddələrin konsentrasiyasını artırmaq və yüksək keyfiyyətli, ekstraktlı şərab xammalı əldə etmək. Lakin üsulun seçimi bölgənin iqlim şəraitindən, texniki imkanlardan və istehsal olunacaq şərabın tipindən asılıdır [8].

Tədqiqat Abşeron yarımadasının iqlim şəraitinə uyğun olaraq kölgədə təbii soluxdurma (shade drying) üsulu əsasında aparılmışdır. Bu üsul seçilərkən əsas məqsəd yüksək yay temperaturu və aşağı rütubət şəraitində üzüm gilələrinin biokimyəvi balansını – şəkərlilik, turşuluq və fenolik tərkibi – qorumaq olmuşdur. Soluxdurma prosesi Abşeron Şərab zavodunun təcrübə sahəsində həyata keçirilmişdir. Üzümlər 20–22% şəkərlilik mərhələsində yığıldıqdan sonra təbii havalandırılan kölgəlik sahələrdə, hesir üzərində və tarpaulin materialla örtülmüş şəraitdə 20–25 gün müddətinə soluxdurulmuşdur. Bu dövrdə gilələr birbaşa günəş şüalarından qorunmuş, havalandırma dövrü olaraq təmin edilmişdir.

Kölgədə soluxdurma üsulu seçilməklə məqsəd fenolik maddələrin parçalanmasının qarşısını almaq, gilənin iç strukturunda suyun tədricən buxarlanmasını təmin etmək və aromatik tərkibin itirilməməsini qorumaq olmuşdur. Bu üsul Abşeronun iqlim şəraitində ən sabit biokimyəvi nəticələr verir və Amarone tipli yüksək ekstraktlı şərabların texnologiyasına bənzər xammal əldə etməyə imkan yaradır.

Aparılmış müşahidələr göstərmişdir ki, bu üsulla 20–25 günlük soluxdurma nəticəsində:

- şəkərlilik 20–22%-dən 30–35%-ə qədər yüksəlmiş,
- turşuluq göstəriciləri 4.8–5.2 g/L səviyyəsində qorunmuş,
- fenolik və aromatik maddələrin konsentrasiyası 1.3–1.5 dəfə artmışdır.

Bu göstəricilər sübut edir ki, Abşeron şəraitində kölgədə soluxdurma üsulu həm texnoloji, həm də biokimyəvi baxımdan optimal nəticə verir və təbii qırmızı şərab istehsalı üçün ən uyğun metod hesab olunur.



**Şəkil 1.** Appassimento üsulu ilə asılı vəziyyətdə soluxdurulan qalın qabıqlı üzüm sortları  
**Mənbə:** Jackson, R. S. (2020). Wine Science: Principles and Applications (5th ed.). Academic Press.

Şəkil 1-də üzümlərin Appassimento üsulu ilə asılı vəziyyətdə, təbii havalandırılan otaqda soluxdurulması mərhələsi göstərilir. Bu üsuldə salxımlar tavandan asılır ki, havanın hər iki tərəfdən dövrəni təmin olunsun. Nəticədə gilələrin suyu tədricən buxarlanır, şəkər və aromatik maddələrin konsentrasiyası artır, çürümə riski isə azalır. Bu üsul daha çox qalın qabıqlı, boş salxımlı və küfədavamlı üzüm sortları üçün uyğundur, çünki bu cür sortlar uzunmüddətli qurudulma zamanı struktur və biokimyəvi sabitliyini qoruyur.

Azərbaycanın Abşeron yarımadası iqlim baxımından isti və quraq bölgələrdən biridir. Yay aylarında havanın temperaturu 35–38°C-ə qədər yüksəlir, rütubət çox aşağı olur və küləklər güclü olur. Belə şəraitdə üzüm gilələrinin birbaşa günəş altında qurudulması həm gilənin üst qatında (qabığında) fenolik maddələrin oksidləşməsinə, həm də şirənin bərkiməsinə səbəb olur. Nəticədə gilə içəridən tam qurumadan, üst qatda sərtləşmə yaranır və bu, sonrakı fermentasiya prosesinə mənfi təsir göstərir[11].

Məhz buna görə də Abşeronda günəş altında deyil, kölgədə soluxdurma üsulundan istifadə olunur. Kölgədə aparılan soluxdurma zamanı gilələr təbii havalandırılan açıq sahələrdə, hesir və ya tor üzərində, bəzən də tarpaulin (nazik plastik örtük) altında yerləşdirilir. Belə şəraitdə birbaşa günəş şüaları gilələrə toxunmur, lakin hava dövrəni suyun tədricən buxarlanmasını təmin edir. Bu, gilənin iç strukturunda şəkərin bərabər paylanmasına və fenolik maddələrin parçalanmadan qalmasına şərait yaradır.

Tədqiqat zamanı biz Abşeronun Bilgəh kəndində yerləşən kiçik istehsal sahəsində (yerli şərab zavodu) mövcud texniki imkanlar çərçivəsində, əlavə maliyyə xərci olmadan soluxdurma prosesi həyata keçirdik. Məqsəd zavodun resurslarından asılı olmadan, yerli şəraitdə tətbiq oluna bilən sadə, lakin elmi əsaslı üsulu sınamaq idi.

Bu məqsədlə gilələr 20–22% şəkərlilik mərhələsində yığıldı və kölgəli, külək keçən açıq sahədə hesir üzərinə düzülərək 20 gün ərzində saxlandı. Gün ərzində temperaturun yüksək olduğu saatlarda gilələrin üzərinə nazik ağ tülbent və ya tarpaulin örtülərək birbaşa günəş

təsirindən qorunma təmin edildi. Gecə saatlarında isə örtüklər qaldırıldı ki, havalandırma və rütubət tarazlığı bərpa olunsun.

Bu üsulun ən böyük üstünlüyü odur ki, zavod şəraitində heç bir əlavə avadanlıq, enerji və ya texniki infrastruktur tələb olunmur. Soluxdurma prosesi təbii şəraitdə, tamamilə passiv üsulla həyata keçirilir. Bununla belə, nəticələr göstərdi ki, bu üsulla əldə edilən üzüm xammalının biokimyəvi göstəriciləri — şəkərlilik 21%-dən 33%-ə, fenolik maddələrin miqdarı isə 1.4 dəfə artmışdır. Şirə çıxımı bir qədər azalsa da (təxminən 8–10%), əldə edilən şərabın rəngi, dadı və aromatik balansı yüksək səviyyədə olmuşdur.

Tədqiqat zamanı biz “Abşeron Şərab” müəssisəsinə və ya digər zavodlara əlavə tələblər irəli sürmədik. Bütün proses müstəqil şəkildə, yerli iqlim və sahə şəraiti daxilində həyata keçirildi. Məqsəd laborator şəraitdə deyil, Abşeronun real iqlim mühitində üzümün soluxdurulmasının effektivliyini sınamaq idi. Bu yanaşma eyni zamanda texnologiyanın praktik tətbiq potensialını da göstərdi: sadə şəraitdə, əlavə xərc çəkmədən belə keyfiyyətli və yüksək ekstraktlı təbii şərab əldə etmək mümkündür. Abşeronda aparılan bu təcrübə göstərdi ki, kölgədə təbii soluxdurma üsulu həm elmi, həm iqtisadi, həm də praktik baxımdan ən səmərəli variantdır. Bu üsul yerli iqlimə tam uyğun gəlir, resurs tələb etmir və bölgədə fəaliyyət göstərən kiçik şərab istehsalçıları üçün əlçatan texnologiyadır[10].

Soluxdurma texnologiyası üçün üzüm sortlarının seçimi şərabın keyfiyyətinə birbaşa təsir edən əsas amillərdən biridir. Bu üsulda qalın qabıqlı, boş salxımlı və göbələk xəstəliklərinə davamlı sortlar üstünlük təşkil edir. Belə sortlarda gilələr bir-birinə çox sıx toxunmadığı üçün havalandırma yaxşı təmin olunur, bu da çürümə və kif əmələ gəlmə riskini azaldır. Biokimyəvi baxımdan qalın qabıqlı üzümlər su itkisinə qarşı daha davamlı, eyni zamanda fenol və aromatik maddələr baxımından zəngin olur. Soluxdurma dövründə bu cür sortlarda şəkərlilik daha tez artır, turşuluq isə stabil qalır.

Abşeron şəraitində aparılan tədqiqatlarda “Mədrəsə”, “Bayanşirə” və “Qara qara” kimi yerli sortlar bu proses üçün ən uyğun hesab edilmişdir. Bu sortlar həm isti və quru iqlimə uyğunlaşma qabiliyyəti, həm də biokimyəvi sabitliyi ilə seçilir. “Mədrəsə” sortu yüksək şəkərlilik və ekstrakt potensialına, “Bayanşirə” isə aromatik zənginliyə və balanslı turşuluğa malikdir.

Beləliklə, soluxdurma texnologiyasında düzgün sort seçimi gilələrin biokimyəvi konsentrasiyasını, quruma sabitliyini və şərabın uzunmüddətli saxlanma keyfiyyətini müəyyən edən əsas texniki amildir[1].





**Şəkil 2.** Abşeron iqlim şəraitində yetişdirilmiş qırmızı şərablıq üzüm salxımı

Şəkil 2-də soluxdurma prosesindən əvvəl 20–22% şəkərlilik mərhələsində yığılan şərablıq üzüm gilələri təsvir olunmuşdur. Abşeron yarımadasının yüksək temperatur və su qıtlığı ilə səciyyələnən iqlim şəraiti gilələrdə fotosintezin zəifləməsinə və şəkərlənmənin ləngiməsinə səbəb olur. Bu səbəbdən üzümün keyfiyyət göstəricilərini yaxşılaşdırmaq üçün sonrakı mərhələdə kölgədə soluxdurma tətbiq edilir.

### **NƏTİCƏ**

Aparılan tədqiqat Abşeron yarımadasının sərt iqlim şəraitində üzümçülük və şərabçılıq üçün ən optimal texnologiyalardan birinin üzümün soluxdurulması (dehidrasiya) olduğunu təsdiq edir. Yüksək yay temperaturu, su qıtlığı və fotosintezin zəifləməsi üzüm gilələrində şəkərlənmənin zəif getməsinə, turşuluğun sürətlə azalmasına və ənənəvi üsullarla yüksək keyfiyyətli qırmızı şərab əldə edilməsinin mümkün olmamasına səbəb olur.

Abşeronda kölgədə təbii soluxdurma prosesinin nəticələri və şəkər-turşu balansındakı dəyişikliklər

| Emal mərhələsi              | Şirənin sıxlığı<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Şəkərlilik<br>(q/L) | Tündlük (%)<br>h) | Turşuluq<br>(g/L) |
|-----------------------------|-----------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Yığım zamanı (tarlada)      | 1075                                    | 185                 | 9.5               | 8.2               |
| Soluxdurmanın 10-cu<br>günü | 1102                                    | 235                 | 13.1              | 7.4               |
| Soluxdurmanın 20-ci<br>günü | 1125                                    | 285                 | 16.7              | 6.8               |
| Soluxdurmanın 25-ci<br>günü | 1140                                    | 330                 | 19.3              | 6.0               |

**Mənbə:** Tədqiqatın eksperimental nəticələri, Abşeron (2024); müqayisə üçün bax: Misel & Buddo (1952), Weber (1938), Bobadilla & Navarra (1949).

Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, üzüm 20–22% şəkərliliklə yığıldıqdan sonra 20–25 gün ərzində kölgədə, hesir üzərində və ya tarpaulin altında soluxdurulduqda su itkisi hesabına şəkərlilik 30–35%-ə, fenolik və aromatik maddələrin konsentrasiyası isə əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlir. Soluxdurma prosesi həm turşuluğun saxlanması təmin edir, həm də ekstrakt miqdarını artıraraq yüksək dolğunluğa malik qırmızı şərabların alınmasına şərait yaradır. Şirə və şərab çıxımının müəyyən qədər azalmasına baxmayaraq (təxminən 5–10%), əldə edilən məhsulun keyfiyyət göstəriciləri – rəng intensivliyi, aromatik zənginlik, fenolik tərkib və balans – adi şərablara nisbətən xeyli yüksək olur. Bu xüsusiyyətlər soluxdurulmuş üzümdən hazırlanmış şərabı Amarone tipli yüksək ekstraktlı şərablarla eyni kateqoriyaya yaxınlaşdırır. Ümumilikdə aparılan təhlil göstərir ki, soluxdurma üsulu Abşeronun iqlim şəraitində şərabçılığın inkişafı üçün effektiv texnoloji yanaşmadır. Bu üsul həm üzümün biokimyəvi tərkibini zənginləşdirir, həm də iqtisadi baxımdan daha yüksək dəyərə malik məhsulun istehsalına imkan verir. Bu nəticələr Abşeron bölgəsində soluxdurulmuş üzümdən təbii qırmızı şərab istehsalının geniş tətbiqinin məqsədəuyğun olduğunu və region şərabçılığının potensialını artırdığını göstərir.

Bu istiqamətdə aparılan əlavə təhlillər göstərir ki, soluxdurma üsulu yalnız Abşeronda deyil, həm də digər yarımsəhra və kontinental iqlim zonalarında üzümçülüyn səmərəliliyini artırmaq üçün tətbiq oluna bilər. Bu texnologiya müasir iqlim dəyişikliyi şəraitində məhsulun keyfiyyətini qorumağa və sabit istehsal təmin etməyə imkan verir. Məsələn, qlobal istiləşmənin təsiri ilə şəkər-turşu balansının pozulduğu regionlarda bu üsul üzüm gilələrinin şəkərlənmə prosesini təbii yolla tarazlaşdırır.

Soluxdurulmuş üzüm texnologiyasının ənənəvi və müasir metodlarla birləşdirilməsi – məsələn, *Appassimento* üsulunun kamera şəraitində tətbiqi və ya *IceWine* modelinin yerli iqlimə uyğunlaşdırılması – Azərbaycan şərabçılığında yeni istiqamətlərin formalaşmasına şərait yarada bilər. Bu, həm ekoloji baxımdan dayanıqlı, həm də innovativ texnologiyalara əsaslanan istehsal sisteminin qurulması deməkdir. Abşeron şərabçılığında soluxdurma texnologiyasının geniş tətbiqi yalnız məhsul keyfiyyətinin yüksəlməsinə deyil, həm də brend dəyərinin və ixrac potensialının artmasına gətirib çıxara bilər. Belə məhsullar beynəlxalq bazarlarda “Azerbaijan Dry Sun Wine” və ya “Caspian Amarone” kimi regional identifikasiya ilə təqdim edilə bilər ki, bu da ölkənin şərab ixracının diversifikasiyası üçün mühüm addımdır. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, üzümün soluxdurulması texnologiyası Abşeron və ümumilikdə Azərbaycanın quru iqlim şəraitində keyfiyyətli, ekstraktlı və aromatik baxımdan zəngin şərabların istehsalını təmin edən, elmi əsaslara söykənən, iqtisadi və texnoloji cəhətdən səmərəli bir yanaşmadır. Bu texnologiyanın elmi-praktik tətbiqi gələcəkdə Azərbaycan şərabçılığının beynəlxalq tanınmasına və rəqabətqabiliyyətliliyinin artmasına töhfə verə bilər.

## ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Jackson, R. S. *Wine Science: Principles and Applications*. Academic Press, 2016.
2. Amerine, M. A., & Ough, C. S. *Methods for Analysis of Musts and Wines*. Wiley-Interscience, 1980.
3. Reynolds, A. G. *Viticulture and Wine Quality*. Woodhead Publishing, 2010.
4. Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. *Understanding Wine Chemistry*. Wiley, 2016.
5. Rapp, A., & Mandery, H. "Wine aroma compounds." *Experientia*, 42(8), 1986.
6. Cliff, M., Pickering, G., & Meiering, E. "Impact of grape dehydration on wine quality." *Food Research International*, 35, 2002.
7. Noble, A. C. "Phenolic composition of wines." *American Journal of Enology and Viticulture*, 45(1), 1994.
8. Wilson, J. E. *Terroir: The Role of Geology, Climate and Culture in the Making of French Wines*. University of California Press, 1998.
9. Azərbaycan Respublikası Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi. *Azərbaycan üzümçülüüyü və şərabçılığı üzrə illik hesabatlar*. Bakı, müxtəlif illər.
10. Əsgərov, A. *Azərbaycan Şərabçılığı: Tarix, Texnologiya və İnkişaf*. Bakı: Təhsil Nəşriyyatı, 2018.
11. Əliyev, R. *Azərbaycan vitikulturasının əsasları*. Bakı: Elm, 2005.
12. Babayev, H. və b. *Üzümçülüyn bioloji və aqrotexniki əsasları*. Bakı, 2012.



## **Geological and Mineralogical Sciences**

# DIRECT-PROSPECTING TECHNOLOGY OF SATELLITE AND PHOTO IMAGES FREQUENCY-RESONANCE PROCESSING: RESULTS OF APPROBATION ON PROSPECTING BLOCKS AND SITES OF WELLS FOR HYDROGEN DRILLING IN FRANCE

**Mykola Yakymchuk**

Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry, Kyiv, Ukraine

**Ignat Korchagin**

Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Valery Solovyov**

Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Annotation.** To demonstrate the operability and efficiency of direct-prospecting technology of frequency-resonance processing and interpretation of satellite images and photographs, the results of its testing within large blocks of hydrogen degassing and local areas of wells drilling in France are presented and analyzed. The developed and used mobile and low-cost technology include modified methods of frequency-resonance processing and decoding of satellite and photo images, vertical electric-resonance sounding (scanning) of a cross-section, as well as a method of integrated assessment of the prospects of hydrocarbons and hydrogen potential of large prospecting blocks and license areas. Separate methods of this direct-prospecting technology are based on the principles of the “substance” paradigm of geophysical research, the essence of which is to search for a specific substance - oil, gas, hydrogen, gold, zinc, etc. The surveyed in reconnaissance mode big blocks and local areas in different region of France are promising for detailed prospecting and drilling wells for natural hydrogen. Conclusions and recommendations of this nature were made taking into account the results of large-scale testing of direct-prospecting methods in areas and sites of visible hydrogen degassing in various regions of the globe. In the process of analyzing and comparing the results of the reconnaissance survey of the “Trois Evêchés” license block, local areas within it and implementing additional instrumental measurement procedures, a site with a basaltic volcanic structure was localized, within which 12 hydrogen-saturated layers were recorded by sounding the cross-section interval of 0-5 km. To further demonstrate the feasibility of the methods used, the article includes also the results of a reconnaissance survey of a hydrogen production site in Mali and detailed studies to locate sites for well drilling in Ukraine. Instrumental measurements have revealed the presence of a basaltic volcanic complex at a hydrogen production site in Mali. Fine-grained scanning of the section within a wellbore image at intervals of 0-2 km revealed 11 hydrogen-bearing strata of varying thickness.

Within the survey block in Ukraine, during the frequency-resonance processing of satellite images of local sites of different areas in detailed mode (format), a zone of accumulation of hydrogen and living (healing) water was detected and localized. In the process of crushing satellite images into fragments of different sizes, the most promising zones (sites) for drilling exploratory wells were detected and localized. By scanning the section with steps of different sizes the thickness and depth of the most promising reservoirs with hydrogen, as well as living (healing) water were determined. The materials of the article, as well as the previously published results of experimental studies in various regions, indicate the advisability of using low-cost methods of frequency-resonance processing of satellite images and photographs to detect zones of hydrogen accumulation in areas of basalt volcano's location, as well as in areas of hydrogen degassing. Detailed studies and drilling of wells in promising areas can be planned and carried out for hydrogen and living water at the same time. The obtained results of experimental work are also additional evidence in favor of "volcanic" model of the formation of various structural elements and the external appearance of the Earth, as well as deposits of combustible and ore minerals (including hydrogen and water). The use of mobile and low-cost technology will significantly speed up the exploration process for hydrogen, as well as reduce the financial costs for its implementation.

**Keywords.** Hydrogen, basalts, limestones, dolomites, marls, living water, abiogenic genesis, volcano, direct searching, deep structure, oil, gas, amber, chemical elements, sounding of the cross-section, remote sensing data processing.

### Introduction

Geological and geophysical work with the aim of searching for natural hydrogen accumulations in cross-sections of the earth's interior and drilling prospecting and exploration wells for its production in promising areas is currently being planned and carried out in various regions of the globe, on the European continent including. In particular, information has appeared on many Internet sites about the discovery of significant (large) accumulations of natural hydrogen in the northeast of France, in Lorraine [3-4, 13, 18] and wells for hydrogen drilling within "Trois Evêchés" exploration (license) block.

A reconnaissance survey of local zones and large areas in order to study the possibility of using super-mobile methods of satellite images and photographs frequency resonance processing for natural hydrogen searching was carried out in areas (zones) of visible hydrogen degassing in many countries on different continents. This paper presents the results of direct-prospecting methods testing at several local sites and large blocks in France.

To demonstrate the additional capabilities of direct exploration technology, the article also includes the results of a reconnaissance survey of a natural hydrogen production site in Mali, as well as detailed exploration work (with the implementation of an extended set of instrumental measurement procedures) to select a site for drilling hydrogen wells in Ukraine.

### Research methods

Experimental reconnaissance studies are carried out using low-cost direct-prospecting technology, including modified methods of frequency-resonance processing and decoding of satellite images and photographs, vertical electric-resonance sounding (scanning) of the cross-section and the method of integral assessment of the prospects for oil and gas (ore) potential of large prospecting blocks and local areas [19-30]. The individual components of the technology used are developed on the principles of the "substance" paradigm of geophysical research, the essence of which is the search for a specific (required in each case) substance. The developed methods are based on the standing electric waves, discovered by Nikola Tesla in 1899 in the deep horizons of the Earth. In modified versions of the methods of frequency-resonance processing of

satellite images and photographs, as well as vertical sounding (scanning) of the cross-section, existing databases (sets, collections) of sedimentary, metamorphic and igneous rocks (<https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/sprav/petro/petro-mobil.pdf>), minerals and chemical elements are used.

The set of photographs of sedimentary rocks consists of 11 groups: [12] 1) psephites, monomineralic conglomerates (22 samples, sample numbers in the set are 2-23); 2) psammities (18, 25-42); 3) silts, mudstones, clays (6, 44-49); 4) kaolinite mudstones (6, 51-57); 5) kaolinite clays (10, 59-68); 6) sedimentary-volcanoclastic rocks; tuff breccias (9, 70-78); 7) limestones (24, 80-103); 8) dolomites (11, 105-115); 9) marls (10, 117-126); 10) siliceous rocks (13, 128-140); 11) salt.

The database of photographs of igneous and metamorphic rocks includes 18 groups: 1) granites and rhyolites (29 samples, sample numbers in the database are 1-29); 2) granodiorites and dacites (7, 31-37); 3) syenites and trachytes (18, 39-56); 4) diorites and andesites (14, 58-71); 5) lamprophyres (14, 73-86); 6) gabbro and basalts (32, 88-119); 7) non-feldspar ultramafic rocks (20, 121-140); 8) feldspathoid syenites and phonolites (23, 142-164); 9) feldspathoid gabbroids and basaltoids (6, 166-171); 10) feldspar-free ultramafic and mafic rocks (10, 173-182); 11) kimberlites and lamproites (20, 184-203); 12) non-silicate carbonatites (8, 205-212); 13) metamorphic granulites (10, 214-223); 14) metamorphic gneisses (26, 225-250); 15) metamorphic crystalline schists (44, 252-295); 16) metamorphic microcrystalline schists (phyllites) (11, 297-307); 17) metamorphosed slates, cleaved sandstone (1, 308); 18) metamorphosed slates, cleaved siltstone (1, 309).

The peculiarities and potentialities of the methods used, as well as the technique of instrumental measurements carrying out, are described in more detail in [10-12, 19-30].

In the process of performing experimental studies of a reconnaissance or detailed nature (instrumental measurements carrying out!) within the blocks and areas of the survey, the following sequence of procedures (graphs) for processing an individual satellite image (or its local fragment) is used.

1. The procedure for fixing responses (signals) from the surface at the frequencies of the following set of substances: oil, condensate, gas, amber, methane-oxidizing bacteria, oil shale, gas hydrates, ice, coal, anthracite, hydrogen, living (deep) water, dead water, diamonds, potassium magnesium salt, sodium chloride salt.

2. Graph of the response's registration from the groups of sedimentary, metamorphic and igneous rocks that make up the cross-section.

3. Procedure for determining the presence within survey area of deep channels (volcanoes), filled with various groups of rocks; depths assessment of the volcano's roots location.

5. Graph for determining groups of rocks (or individual samples of groups), from which signals are recorded at frequencies of oil, condensate, gas and water (deep, live).

6. The procedure for recording responses of oil, condensate, gas and phosphorus at the surface (depth) of 57 km – the boundary of the hydrocarbons and amber synthesis in deep channels (volcanoes), filled with certain groups of rocks.

7. Graph of signals registration of water (deep, live) on the surfaces of 11, 46, 57, 68 km – the predicted boundaries of water synthesis in volcanoes of a certain type.

8. The procedure for scanning a cross-section with different steps from the surface up to 15 km to determine the depth intervals, within which responses are recorded at the resonant frequencies of oil, condensate, and gas. Refinement of the depths of location of the most promising for hydrocarbons intervals of cross-section during additional scanning with a finer step.

9. Graph for assessing the depth of the upper boundary (edge) of basalts, as well as the depths of the beginning of fixing responses at the resonant frequencies of hydrogen and living

(healing) water from basalts. It is implemented in case of fixing responses from the 6th group of igneous rocks (basalts) on the surveyed area.

10. Procedure for determining the depths of occurrence of the upper edge of kimberlites, as well as the depth interval within which responses at diamond frequencies are recorded. It is implemented when establishing the presence of signals from the 11th group of igneous rocks (kimberlites) in the survey area.

In the process of mobile direct-prospecting methods testing in France during reconnaissance surveys of local areas and large blocks, a small (limited) number of instrumental measurement procedures was performed.

### Results of the demonstration stage of work on the block in France

For an additional demonstration of the performance of the direct-prospecting super-mobile technology of satellite images and photographs frequency-resonance processing [19-27], potential Customers are invited to conduct a demonstration phase of work at a known Customer's objects. Below are the results of a demonstration phase of a limited number of instrumental measurements in the block of France territory.

Block of demonstration survey in Fig. 1 was chosen based on the results of a visual analysis of satellite images of the France territory.

The main purpose of frequency-resonance processing of the image of the territory in Fig. 1 – assessment of the feasibility of further exploration for natural hydrogen within its limits.

When processing the image, a very small number of instrumental measurements was made.

During the frequency-resonance processing of the image in Fig. 1, signals were recorded from the surface at **the frequencies of natural hydrogen and the 6th (basalt) group of igneous rocks**.

The signals at hydrocarbon frequencies were also recorded by additional instrumental measurements.

The processing results also indicate the presence of other minerals within the block.

Further instrumental measurements within the block were not carried out.



**Fig. 1.** Satellite image of the survey block in France. The scale bar in the lower right corner is 20 km.

*Some comments.* Within the block, it is advisable to carry out further detailed exploration work in order to localize areas with accumulations of natural hydrogen, oil, condensate and gas in the cross-section.



At the initial stage of additional work, it is advisable to determine the values (integral, averaged) of the depths and thicknesses of the intervals of the cross-section with predicted deposits of hydrogen and hydrocarbons by sounding the section. Based on the results of sounding, a decision can be made on further directions of prospecting.

### Reconnaissance survey in 2023 of hydrogen degassing sites in France

When testing mobile direct-prospecting methods, satellite and photo images from published articles were used, and were prepared also using the Google Earth software package.

**Circular depressions in South Gironde.** The paper [14] presents the results of monitoring observations at a local site of hydrogen degassing in France. During frequency-resonance processing of the satellite image of the site from this article (Fig. 2), responses of phosphorus, hydrogen, living water and basalts were recorded from the surface. The root of the basalt volcano was identified at a depth of 723 km.

When processing a satellite image of this area, shown in Fig. 3, as well as its fragment in a rectangular contour, similar results were obtained.

When the cross-section scanning from the surface, step 1 m and 1 cm (refinement), the upper edge of the basalts was fixed at a depth of 721 m. This is an integral estimate of the depth of the basalts upper edge.

And during scanning from the surface with a step of 1 cm, responses of basalts began to be recorded from 8.25 m. This indicates the presence of basalt columns within the survey area, along which hydrogen can migrate into the atmosphere.

On the surface of 721 m, responses of the 8th (dolomite) and 9th (marl) groups of sedimentary rocks were obtained from the upper part of the cross-section. The lower edges of these rocks were recorded at a depth of 99 km. From the interval of 99-723 km, signals were received of the 10th group of sedimentary (siliceous) rocks.

By the cross-section scanning from the surface, step 10 cm, responses of hydrogen were obtained from the intervals 1) **54-203 m** and 2) **294-529 m**. Signals of hydrogen from basalts began to be recorded from **810 m**.

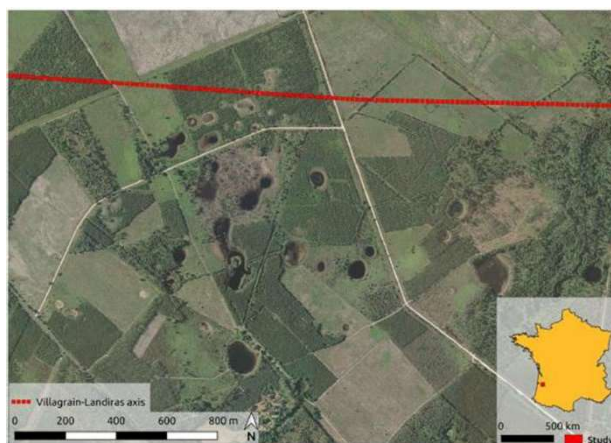


**Fig. 2.** The circular depressions north of Saint-Magne village on satellite image [14].

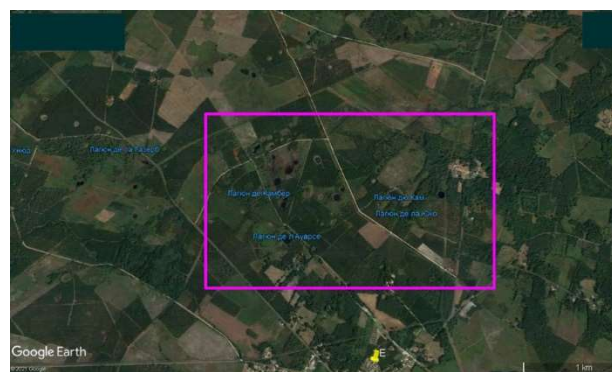


**Fig. 3.** Satellite image of hydrogen degassing area north of Saint-Magne village (France).

On the surface of 721 m, responses of hydrogen, dolomites, marls (of low intensity) from the upper part of the cross-section were recorded.

**Areas of visible hydrogen degassing.** Figures 4 shows two more satellite images with zones of visible hydrogen degassing in France. During frequency-resonance processing of these images in reconnaissance mode, responses at the frequencies of basalts, hydrogen and living water were

obtained within them. In these areas, it is advisable to carry out search work for natural hydrogen of a detailed nature.



**Fig. 4.** Satellite images of hydrogen degassing areas in France.

***Results of satellite image processing at September 19, 2023.*** Information messages [3-4, 13, 18] provide data about the discovery of large accumulations of natural hydrogen in the coal basin of France, in Lorraine, as well as the filing by La Française d'Énergie (FDE) company an application for the search and production of natural hydrogen within the Trois Evéchés license block. Using information from various sites for a reconnaissance survey, a satellite image of a fragment of the territory (Fig. 5) was prepared in this region of France, within which the Trois Evéchés license block is located. The contours of the block on the satellite image of the territory in Fig. 5 are not applied.

During frequency-resonance processing of the satellite image in Fig. 5 in reconnaissance mode, signals at the **frequencies of hydrogen, hydrogen bacteria and the 6th group of igneous rocks (basalts) were registered!**

The territory of the block on the satellite image is promising for detailed prospecting work and drilling wells for natural hydrogen!

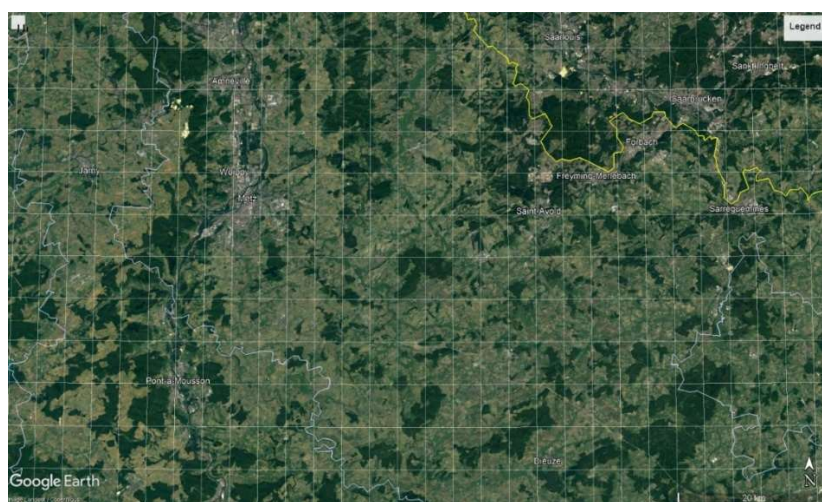


**Fig. 5.** Satellite image of France territory with the Trois Evechés license block.

*Main conclusions and some comments.* All areas surveyed in reconnaissance mode in Fig. 2-5 are promising for detailed prospecting and drilling wells for natural hydrogen. Conclusions and recommendations of this nature were made taking into account the results of large-scale testing of direct-prospecting methods in areas and sites of visible hydrogen degassing in various regions of the globe.

Let us pay attention to the local area in Fig. 3. Within its boundaries, by the cross-section scanning with a relatively small step of 10 cm in the upper part of the section above the basalts two intervals that are promising for detecting hydrogen accumulations were identified.

Coal mines in this region are closed due to the fact that the coal seams in the basin are enriched with methane and their further development is explosive. Mine fields in Lorraine are promising for coalbed methane production [15-16].

The results of reconnaissance surveys of areas with coal mines in various regions are presented in articles [20, 21, part 1]. In a small area in Donetsk, at which a coal mine accident occurred, responses were recorded at the resonant frequencies of oil, condensate, gas, helium, hydrogen, oxygen, carbon, and coal. By scanning cross-section in this area with a large step of 1 m, the following response intervals were recorded: helium – 120-2500 m; oxygen – 140-2550 m; hydrogen – 140-1000 m; gas – 140-10500 m.

It is expedient to add the following to the results of reconnaissance studies, presented above. In the process of instrumental measurements using satellite images of the four areas in France (Figs. 2-5), the main emphasis was placed on fixing the responses at the frequencies of hydrogen and the 6th group of igneous rocks (basalts). This is due to numerous survey results of large and local zones of visible hydrogen degassing in various regions of the globe [22-28]. In article [25] the obtained results are summarized in the following form.

1. In large areas and local sites of basaltic volcanoes location with roots at different depths, signals at hydrogen frequencies at surface are almost always recorded.

2. When performing the cross-section scanning procedure, responses of hydrogen are recorded practically from the upper edges of basalt volcanoes to their roots. This feature suggests that basaltic volcanoes are a kind of channels, through which hydrogen is actively migrated to the upper horizons of the cross-section and further into atmosphere.

3. In some types of basalt volcanoes, deep (living) water is synthesized at a depth of 68 km or 69 km. Hydrogen-enriched water is healing and can be used for health purposes. It should be noted that all the studied zones and areas of longevity on Earth [21, part 2] are located within (contours) of basalt volcanoes, in which water synthesized at a depth of 68 km or 69 km migrates to the surface and is used for water supply and drinking purposes.

4. Hydrogen deposits can be formed by basaltic volcanoes in capped reservoirs, adjacent to basalts. The hydrogen production site in Mali is located outside the contour of a basaltic volcano; responses of hydrogen were recorded at the well's location from marls. In other areas of the survey, signals of hydrogen were obtained from dolomites (the Carpathians, the island of centenarians Ikaria), as well as marls and limestones.

5. Hydrogen deposits, formed near basalt volcanoes in reservoirs of various types, can be quickly detected and localized during areal prospecting using direct-prospecting methods (technologies of frequency-resonance processing of satellite images and photographs, including).

6. The problem of studying reservoirs in crystalline rocks (including basalts) deserves attention. Direct-prospecting methods can also be used for this purpose.

7. It should be considered fundamentally important that the experimental studies carried out in numerous areas have shown the possibility (and expediency) of using direct-prospecting frequency-resonance methods for processing and interpreting satellite images and photographs to detect and localize areas of hydrogen accumulation, as well as determine depths of its predicted deposits. In further studies in this direction, it is advisable to pay attention to the types of reservoirs in which hydrogen can be accumulated, as well as seal rocks that will contribute to preservation of deposits.

In connection with the above, the facts of hydrogen migration into the atmosphere, recorded by instrumental measurements within the limits of discovered basalt volcanoes in various regions of the world, as well as gas (methane) in hydrocarbon deposits, should be



considered fundamentally important. In general, the results of the studies presented in [22-28] confirm the conclusions of researchers about the large-scale migration of deep (abiogenic) gas and hydrogen into the atmosphere of Earth planet!

### **Reconnaissance surveying of large blocks of hydrogen degassing in France**

During the mobile direct-prospecting methods testing in 2024, satellite and photo images from published articles were used and were prepared also using the Google Earth software package.

Article [9] presents the results of an analysis of materials obtained during the drilling of 10 wells in the Paris Basin. Hydrogen was detected in drilled wells.

Article [31] analyzes materials of the field geological studies at a hydrogen degassing area in the south of France.

These publications determined the advisability of additional examination of these large areas in France in order to assess the prospects of natural hydrogen deposits (accumulations) in industrial quantities discovering within their boundaries. Such studies at the sites were carried out using super-mobile direct-prospecting technology of the satellite images and photographs frequency-resonance processing and decoding.

Using graphic illustrations from the mentioned articles [9, 31] (Fig. 6 and 8a), satellite images (Fig. 7 and Fig. 8b) of the survey areas were prepared for frequency-resonance processing. The satellite image of the Paris Basin (Fig. 7) also shows (approximately) the locations of 10 drilled wells.

Frequency-resonance processing of the prepared images was carried out in reconnaissance mode, using a limited set of measurement procedures. The main goal of this stage of work is to assess the feasibility of carrying out the investigation of detailed character within the surveyed blocks (using an expanded set of measurement procedures) to select sites for prospecting wells drilling for natural hydrogen.

During the frequency-resonance processing of satellite images in Fig. 7 and 8b, in the reconnaissance mode, only a set of instrumental measurement procedures are implemented, used to quickly determine the presence (absence) of hydrogen accumulations in the cross-section within the survey block (area).

Traditionally, when carrying out prospecting work for natural hydrogen, at the first (initial) stage of research, procedures are implemented for recording signals (responses) from the surface on the frequency spectra of hydrogen, red phosphorus, hydrogen bacteria, living (healing) water, basalts (6th group of igneous rocks), as well as procedures for determining the presence (absence) of the hydrogen and red phosphorus migration into the atmosphere.

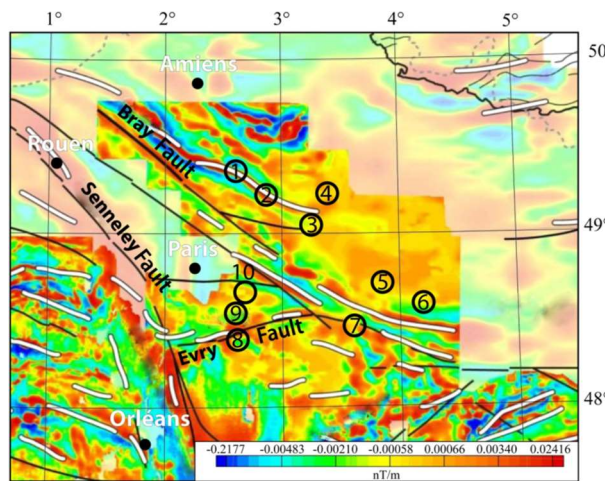


**Fig. 6.** Map of the vertical gradient of the magnetic anomaly in the Paris Basin. Black circle corresponds to the H2-bearing well [9].

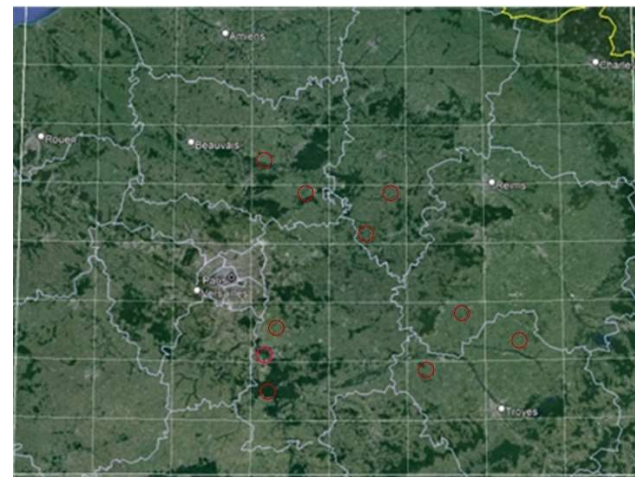
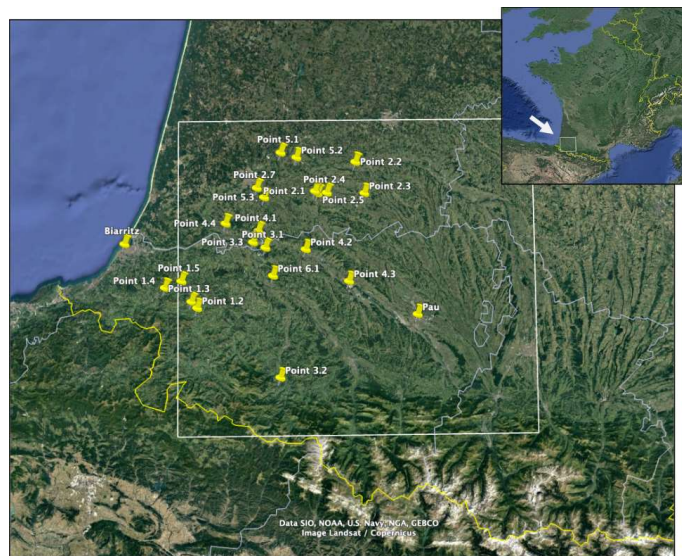
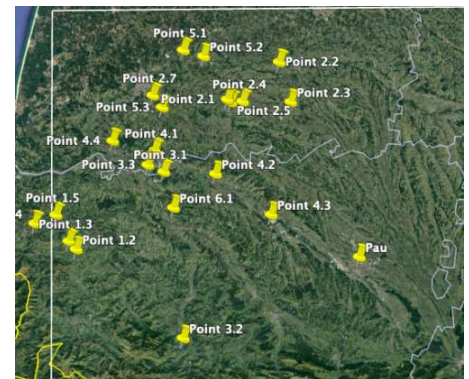


**Fig. 7.** Satellite image of the France territory in the Paris Basin region. The positions of the drilled wells are indicated in the image by red circles.



a)



*b)*

**Fig. 8.** Site visited during the GFZ Innovative Research Expedition. Background image from Google Earth. The white rectangle shows the area of the soil gas study [31].

When frequency-resonance processing the satellite images in Figs. 7 and 8b, in accelerated mode, signals (responses) were recorded from the surface at frequencies (frequency spectra) of hydrogen, red phosphorus, hydrogen bacteria, living (healing) water, old basalts, basalts (6th group of igneous rocks), as well as the facts of the hydrogen and red phosphorus migration into the atmosphere have been established by instrumental measurements.

It is also advisable to note that within the surveyed blocks (in the Paris Basin, primarily) very intensive signals were recorded at the frequencies (frequency spectrum) of natural hydrogen, which indicates a high probability of the deposits (accumulations) of natural hydrogen in industrial volumes detecting within their boundaries.

We also note that in areas of the basalt complex's location, responses are almost always recorded at the frequencies of hydrogen-enriched (healing) water. Intensive responses were also recorded on the frequency spectrum of living (healing) water within the Paris Basin.

In this regard, at the first stage of prospecting for natural hydrogen using direct-prospecting methods within the basin, it is also advisable to determine the location of deposits with healing water, as well as select the most convenient areas (sites) for drilling wells for water extraction.

***Areas in the central part of France with signs of hydrogen degassing.*** Visual analysis of satellite images of large surveyed blocks (Fig. 7, 8) suggests the presence of fairly large ring structures within them. The presence of basaltic volcanic complexes in their contours is confirmed, in principle, by instrumental measurements of reconnaissance character.

In the process of visual analysis of satellite images of the entire territory of France in the central part of the country, two more large fragments of the territory were identified (Fig. 9), within which basaltic volcanic complexes with hydrogen and living (healing) water can also be found. It is advisable also to carry out frequency-resonance processing of these images in reconnaissance mode.

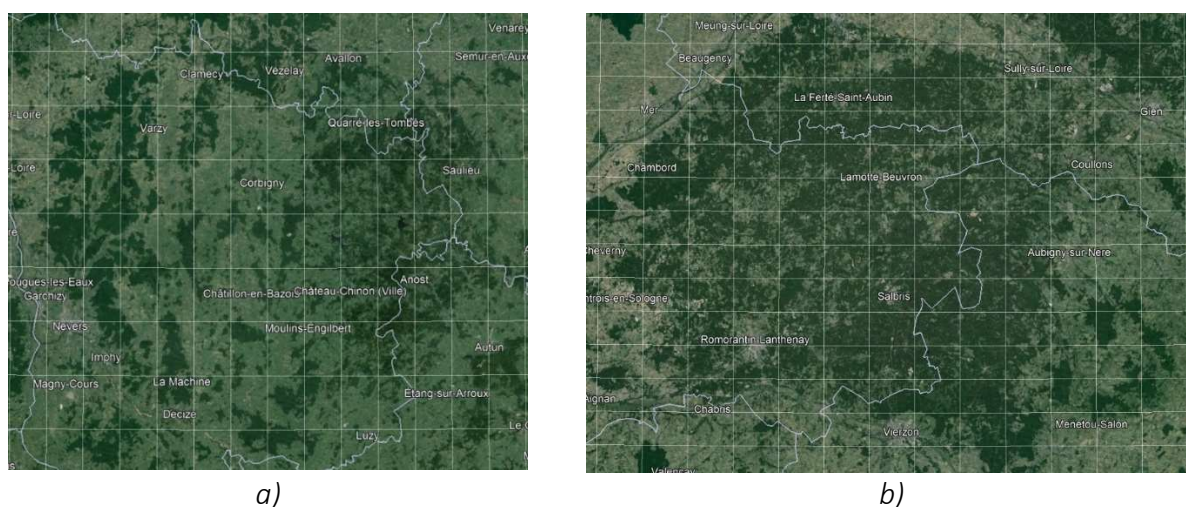


**Fig. 9.** Satellite images of large fragments of territory in the central part of France with signs of hydrogen degassing.

*The results of additional measurements with satellite images in Fig. 9 using.*

**Fig. 9a:** Signals of hydrogen, hydrogen bacteria, and basalts are not recorded during 60 s of measurements each. There were fixed signals of hydrocarbons (oil, gas, condensate) and the 7th group of igneous (ultramafic) rocks. The fact of hydrocarbons synthesis at a depth of 57 km was established.

**Fig. 9b:** Hydrogen signals are recorded from 12 s of measurements, hydrogen bacteria - from 9 s, basalts - from 12 s.

***Project of France territory reconnaissance survey for blocks with hydrogen detecting.***

A satellite image of the France territory is shown in Fig. 10. To implement the first stage of work, the image of the France territory is divided into 96 local fragments (Fig. 10).

During frequency-resonance processing of each fragment of the image in the reconnaissance mode, a limited set of instrumental measurements of the following nature can be performed separately:

- a) the procedure for recording signals (responses) at the frequencies of the 6th group of igneous rocks (basalts);
- b) the procedure for determining the depth of the basalt volcano root (in the case of fixing responses from the surface at basalt frequencies);





## Results of the investigation of the site with drilled hydrogen wells in France

**Results of local area and block surveys.** In March 2026, the French company La Française de l'Énergie (FDE) announced the successful completion of the PTH-2 deep well drilling project, which was carried out as part of the REGALOR II research program, and confirmed the significant presence of natural hydrogen in the depths of the Moselle department, Grand Est region [1].

The information provided determined the feasibility of conducting a reconnaissance survey of areas with hydrogen-drilled wells within the Trois Evêchés exploration (license) block (Fig. 11) in order to assess the prospects for detecting natural hydrogen accumulations in commercial (industrial) volumes within them.

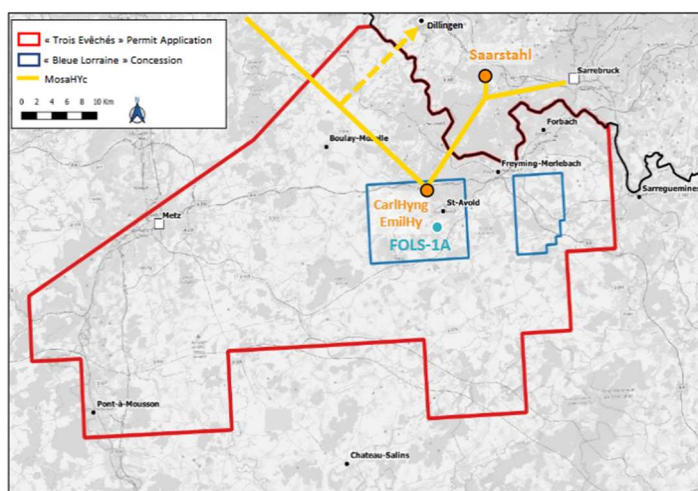


**Fig. 11.** Contours of the Trois Evêchés exploration (license) block and the position of the drilled Folschviller well (FOLS-1A) within its boundaries.

To conduct a survey using information messages on the sites [1, 5-8], satellite images of the areas (Fig. 12, 13), photographs of well drilling sites (Fig. 14-17) were prepared.

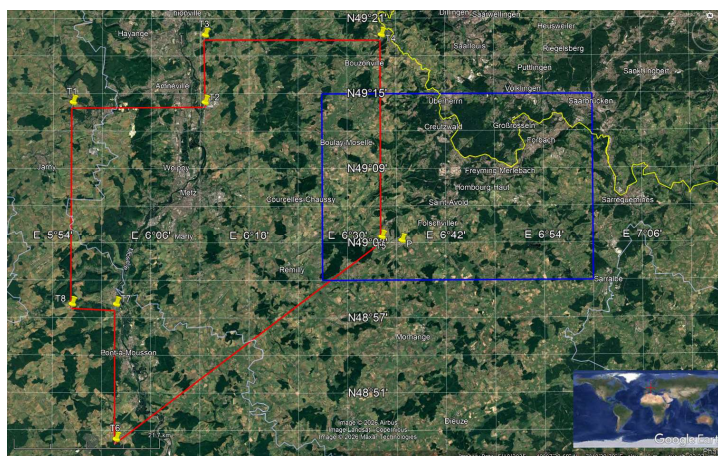


**Fig. 12.** Satellite image with the license block "Trois Evêchés" (without contour).

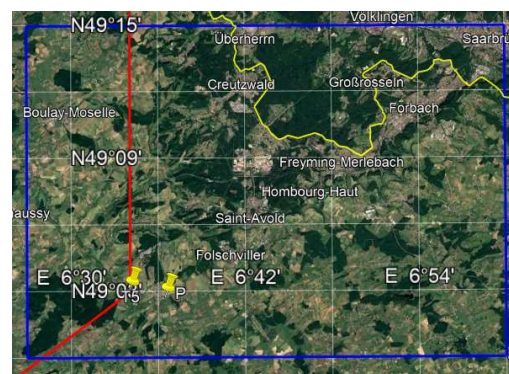


**Fig. 13.** An image showing the drilled wells.

In the process of implementing instrumental measurement procedures, photographs (frequency spectra) of samples of the 2nd group of sedimentary rocks (psammities) (Fig. 18), the 6th group of igneous rocks (gabbro and basalts) (Fig. 19), gas (Fig. 20), hydrogen (Fig. 21), red phosphorus and hydrogen (Fig. 22). hydrocarbons (oil, gas, condensate) (Fig. 23) were used.





**Fig. 14.** Photos of the area with the drilled well in 2025-2026.



**Fig. 15.** Photograph of the area with the drilled well in 2006.



**Fig. 16.** Photo (fragment) from Fig. 14a.



**Fig. 17.** Photo (fragment) from Fig. 14b.



**Fig. 18.** Samples of the 2nd group of sedimentary rocks (psammites).

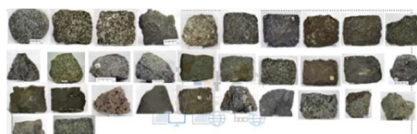


**Fig. 19.** Samples of the 6th group of igneous rocks (gabbro and basalts).

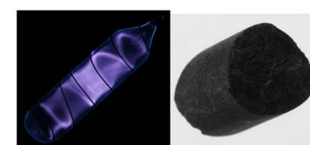


**Fig. 20.** Photomontage of the gas frequency spectrum.



**Fig. 21.** Hydrogen sample.



**Fig. 22.** Samples of red phosphorus and hydrogen



**Fig. 23.** Photomontage of the frequency spectrum of HC (oil, gas, condensate).

The results of the implemented instrumental measurement procedures are summarized as follows.

*Measurement procedure 1.* In the process of frequency-resonant processing of a fragment of a photograph (Fig. 16) with the drilling site of the PTH-2 well (Fig. 14a) and photomontage of the gas frequency spectrum (Fig. 21), a common signal in the depth interval of 0-4.0 km began to be recorded from 4 s of instrumental measurements!

The fixation in the section of the interval 0-4.0 km of signals at gas frequencies indicates the presence within the site of a volcanic complex in which there are conditions for the synthesis of HC at the boundary (depth) of 57 km.

*Measurement procedure 2.* During the scanning (sounding) of the section interval 0-7.0 km with a step of 25 cm, very thick gas layers were recorded at depths of 4.0-7.0 km! The results of the sounding of the interval 4.0-7.0 km are given in Table 1.

**Table 1. Intervals of recording responses at gas frequencies.**

| Amplitude | Depth<br>(100m) | Step   | Substance |
|-----------|-----------------|--------|-----------|
| 0         | 69,722500       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 68,932500       | 0,0025 | gas       |
| 20        | 68,600000       | 0,0025 | gas       |
| 0         | 61,675000       | 0,0025 | gas       |
| 100       | 61,275000       | 0,0025 | gas       |
| 80        | 61,177500       | 0,0025 | gas       |
| 60        | 61,090000       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 60,870000       | 0,0025 | gas       |
| 20        | 60,637500       | 0,0025 | gas       |
| 0         | 60,157500       | 0,0025 | gas       |
| 100       | 59,425000       | 0,0025 | gas       |
| 80        | 59,270000       | 0,0025 | gas       |
| 60        | 59,050000       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 58,657500       | 0,0025 | gas       |
| 20        | 57,390000       | 0,0025 | gas       |
| 0         | 57,060000       | 0,0025 | gas       |
| 100       | 56,495000       | 0,0025 | gas       |
| 80        | 56,405000       | 0,0025 | gas       |
| 60        | 56,275000       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 56,165000       | 0,0025 | gas       |
| 20        | 55,865000       | 0,0025 | gas       |
| 0         | 55,382500       | 0,0025 | gas       |
| 100       | 55,027500       | 0,0025 | gas       |
| 80        | 54,850000       | 0,0025 | gas       |
| 60        | 54,787500       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 54,660000       | 0,0025 | gas       |
| 20        | 54,205000       | 0,0025 | gas       |
| 0         | 53,732500       | 0,0025 | gas       |
| 100       | 52,807500       | 0,0025 | gas       |
| 80        | 52,727500       | 0,0025 | gas       |
| 60        | 52,627500       | 0,0025 | gas       |
| 40        | 52,537500       | 0,0025 | gas       |



|     |           |        |     |
|-----|-----------|--------|-----|
| 20  | 51,832500 | 0,0025 | gas |
| 0   | 51,045000 | 0,0025 | gas |
| 100 | 50,737500 | 0,0025 | gas |
| 80  | 50,512500 | 0,0025 | gas |
| 60  | 50,180000 | 0,0025 | gas |
| 40  | 49,932500 | 0,0025 | gas |
| 20  | 49,557500 | 0,0025 | газ |
| 0   | 49,165000 | 0,0025 | gas |
| 100 | 48,667500 | 0,0025 | gas |
| 80  | 48,195000 | 0,0025 | gas |
| 60  | 47,325000 | 0,0025 | gas |
| 40  | 46,897500 | 0,0025 | gas |
| 20  | 46,342500 | 0,0025 | gas |
| 0   | 40,377500 | 0,0025 | gas |
| 40  | 39,802500 | 0,0025 | gas |
| 20  | 38,687500 | 0,0025 | gas |

It should also be noted that the 25 cm section scanning step is used to select intervals for detailed examination with smaller steps. The intervals given in the table are 1) 3868.75 - 4037.75, 2) 4634.25 - 4916.50, 3) 4955.75 - 5104.50, 4) 5183.25 - 5373.25, 5) 5420.50 - 5538.25, 6) 5586.50 - 5706.00, 7) 5739.00 - 6015.75, 8) 6063.75 - 6167.50, 9) 6860.00 - 6972.25, it is advisable to additionally scan (sound) with a step of 1 cm.

*Measurement procedure 3.* During frequency-resonant processing of a fragment of a photograph (Fig. 16) with the drilling site of the PTH-2 well (Fig. 14a) and a photograph of a hydrogen sample (Fig. 21), a common signal from the depth interval 0-4.0 km was not recorded during 333 s of instrumental measurements!

The lack of recording of responses over a significant time interval indicates that hydrogen deposits in industrial volumes in the depth interval 0-4.0 km are absent!

*Measurement procedure 4.* In the process of scanning (sounding) the section interval 0-4.0 km with a step of 25 cm using a fragment of the photograph (Fig. 16), signals (responses) at hydrogen frequencies (Fig. 21) were not recorded!

Scanning the interval 0-4.0 km confirmed the results of the implementation of procedure 3.

*Measurement procedure 5.* During frequency-resonant processing of the satellite image (Fig. 13) of the area with drilled wells Folschviller (FOLS-1A) and PTH-2 at a depth of 57 km, common signals from HC (Fig. 23) and 1-6 groups of sedimentary rocks (Fig. 18) were recorded! Other types of volcanic structures at a depth of 57 km in the reconnaissance survey mode were not recorded.

The absence of basaltic volcanic structures within the area in Fig. 13 also indicates the absence of hydrogen deposits in the section.

*Measurement procedure 6.* During frequency-resonance processing of a fragment of a photograph (Fig. 17) with the drilling site of the PTH-2 well (Fig. 14b) and a photograph with

samples of the 2nd group of sedimentary rocks (psammites) (Fig. 18), a common signal at a depth of 57 km was recorded.

Numerous experimental studies have shown that in sedimentary rocks of the 2nd group, conditions for the synthesis of explosives at a depth of 57 km exist.

*Measurement procedure 7.* During frequency-resonance processing of a fragment of a photograph (Fig. 17) with the drilling site of the PTH-2 well (Fig. 14b) and a photomontage of the frequency spectrum of HC (Fig. 23), a common signal at a depth of 57 km was recorded!

Another confirmation of the synthesis of HC at the boundary of 57 km in psammites.

*Measurement procedure 8.* During the frequency-resonant processing of a satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 12) and a photograph with samples of red phosphorus and hydrogen (Fig. 22), a common signal from the depth interval of 0-4 km was not recorded during 303 s (5 min 3 s) of instrumental measurements!

In the areas with the 6th group of igneous rocks (basalt and gabbro), signals at the frequencies of red phosphorus and hydrogen are always recorded.

*Measurement procedure 9.* During the frequency-resonance processing of a satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 12) and a photograph of a hydrogen sample (Fig. 21), a common signal from the depth interval of 0-4 km was not recorded during 5 min of instrumental measurements!

The absence of recording of responses over a significant time interval indicates that hydrogen deposits in industrial volumes in the depth interval of 0-4.0 km are absent within the large block!

*Measurement procedure 10.* During the frequency-resonance processing of a satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 12) and a photograph with samples of the 2nd group of sedimentary rocks (psammites) (Fig. 18), a common signal at a depth of 57 km was recorded.

Only signals from the 1st-6th groups of sedimentary rocks are recorded at a depth of 57 km, from the entire set of sedimentary and igneous rocks!

*Brief comment.* Analysis of the results of the implementation of the above instrumental measurement procedures allows us to state the following.

1. The Trois Evêchés block surveyed in reconnaissance mode is located within a volcanic complex filled with psammites, in which hydrocarbon synthesis from hydrogen and carbon migrating from below is realized at depth. The article [17] argues that in sites within which the synthesis of hydrocarbons from hydrogen and carbon migrating from the depths is implemented, the probability of discovering hydrogen deposits in commercial volumes is close to zero.

2. In volcanic structures in which there are conditions for the synthesis of HC at a depth of 57 km, it is impractical to conduct exploration work to drill wells for hydrogen!

3. It is proposed to conduct additional detailed studies on the surveyed area in order to assess the feasibility of drilling wells for hydrocarbons.

The results of the promptly conducted reconnaissance survey of the "Trois Evêchés" license block and local areas within it with the implementation of a limited number of instrumental measurement procedures at each site allow us to quite reasonably state that the probability of detecting natural hydrogen deposits in commercial (industrial) volumes within them is close to zero. It is impractical to drill exploratory wells for hydrogen within the areas.

### **Results of additional investigation of the site with drilled hydrogen wells in France**

The results of the initial stage of reconnaissance survey of the Trois Evêchés block and local areas within it allowed us to state with complete justification, "that the probability of detecting natural hydrogen deposits in commercial volumes within them is close to zero."

For additional survey using information messages on the sites [1, 5-8], as well as previous research results, satellite images of the areas in Figs. 5 and 12 were used.

The feasibility of additional survey of the area with the search unit "Trois Evêchés" is due to the following. In 2023, during the frequency-resonant processing of the satellite image in Fig. 5 in reconnaissance mode, signals were registered at the frequencies of hydrogen, hydrogen bacteria and the 6th group of igneous rocks (basalts)! Considering that Fig. 5 does not have a world map in the lower right corner (Fig. 12), it was assumed that this map overlaps the basaltic volcanic structure within the same area of survey areas in Figs. 5 and 24. The results of additional instrumental measurements presented below confirm this assumption.

The results of the implemented additional instrumental measurement procedures are summarized as follows.

*Measurement procedure 1.* In the process of frequency-resonant processing of a satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 24) and a photograph with samples of red phosphorus and hydrogen (Fig. 22), a common signal at a depth of 57 km was recorded at 7 s of instrumental measurements.

In areas of the 6th group of igneous rocks (basalt and gabbro), signals at the frequencies of red phosphorus and hydrogen are recorded almost always.

*Measurement procedure 2.* During the frequency-resonant processing of the satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 24) and the photograph of samples of the 6th group of igneous rocks (gabbro and basalts) (Fig. 19), a common signal at a depth of 57 km was recorded at 8 s of instrumental measurements.

The presence of basalt deposits within the survey area was confirmed.



**Fig. 24.** Satellite images with the "Trois Evêchés" block (without contour, and without world map).

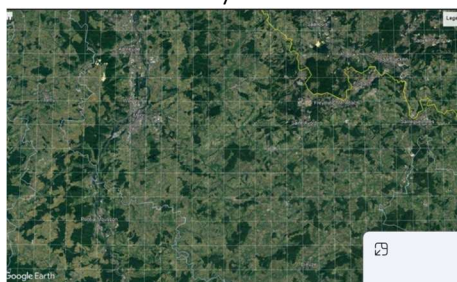


**Fig. 25.** Satellite image with the "Trois Evêchés" block (without outline, with overlay).

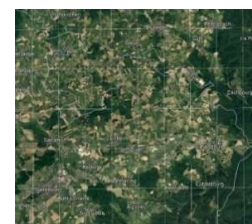


**Fig. 26.** Images with the basalt volcano.

*Measurement procedure 3.* During the frequency-resonant processing of a satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 25) and a photograph of samples of the 6th group of igneous rocks (gabbro and basalts) (Fig. 19), a common signal at a depth of 57 km was not recorded during 60 s of instrumental measurements.

The results of the above measurement procedure indicate that the basaltic volcanic structure (fragment of the structure) is located in the area of the lower right corner of the survey area, closed in Fig. 12 and 25 by "overlays".

*Measurement procedure 4.* During the frequency-resonant processing of the satellite image with the license block "Trois Evêchés" (Fig. 25) and the photograph with samples of red phosphorus and hydrogen (Fig. 22), a common signal at a depth of 57 km was not recorded during 60 s of instrumental measurements.

Additional confirmation of the presence of basalt deposits (fragment of a basalt volcanic structure) in the area of the lower right corner of the survey area.

*Measurement procedure 5.* During the frequency-resonant processing of a satellite image with drilled wells (Fig. 13) and a photograph with samples of red phosphorus and hydrogen (Fig.

22), a common signal at a depth of 57 km was not recorded during 60 s of instrumental measurements.

Information was once again obtained about the absence of hydrogen deposits within the area with wells.

*Measurement procedure 6.* During the frequency-resonant processing of the satellite image with the license block “Trois Evêchés” (Fig. 12) and the photograph with samples of red phosphorus and hydrogen (Fig. 22), a common signal at a depth of 57 km was not recorded during 60 s of instrumental measurements.

Additional confirmation of the situation that the basaltic volcanic structure (fragment of the structure) is located in the area of the lower right corner of the survey area, closed in Fig. 12 by the world map.

*Measurement procedure 7.* During the frequency-resonant processing of a satellite image with a basalt volcano (Fig. 26) and a photograph with a hydrogen sample (Fig. 21), a common signal was recorded at a depth of 57 km.

Demonstration of the success of localization in the area of well drilling of a basalt volcanic structure with hydrogen.

*Measurement procedure 8.* During the frequency-resonant processing of a satellite image with a basalt volcano (Fig. 26) and a photograph of samples of the 6th group of igneous rocks (gabbro and basalts) (Fig. 19), a common signal was recorded at a depth of 57 km.

Demonstration of the success of localization in the area of well drilling of a basalt volcanic structure with hydrogen.

*Measurement procedure 9.* During scanning (sounding) on the survey area (Fig. 26) of the section interval 0-5.0 km with a step of 25 cm, signals (responses) at hydrogen frequencies (Fig. 21) were recorded in 12 intervals (layers) in basalts (Fig. 19)! The results of the sounding of the interval 0-5.0 km are given in Table 2 and Fig. 27 in graphic format.

The sounding of the section confirmed the presence of hydrogen deposits within the localized area with a basaltic volcanic structure.

Table 2. Response fixation intervals at hydrogen frequencies.

| Amplitude | Depth (100m) | Step   | Substance | Rocks   |    |
|-----------|--------------|--------|-----------|---------|----|
| 0         | 48,574000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 47,304000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 12 |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 45,626500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 45,156500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 11 |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 43,504000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 80        | 42,709000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 60        | 40,761500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 40        | 40,204000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 39,849000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 10 |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 39,409000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 38,846500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 9  |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 32,526500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 60        | 32,171500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 40        | 31,774000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 31,146500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 8  |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 28,786500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 80        | 28,286500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 60        | 27,866500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 40        | 27,239000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 26,426500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 7  |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 23,651500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 23,171500    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 6  |
|           |              |        |           |         |    |
| 0         | 21,244000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 40        | 20,154000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts |    |
| 20        | 19,424000    | 0,0025 | hydrogen  | basalts | 5  |

|    |           |        |          |         |   |
|----|-----------|--------|----------|---------|---|
|    |           |        |          |         |   |
| 0  | 14,444000 | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 60 | 13,891500 | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 40 | 13,279000 | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 20 | 12,311500 | 0,0025 | hydrogen | basalts | 4 |
|    |           |        |          |         |   |
| 0  | 10,219000 | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 20 | 9,354000  | 0,0025 | hydrogen | basalts | 3 |
|    |           |        |          |         |   |
| 0  | 5,456500  | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 40 | 4,964000  | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 20 | 3,641500  | 0,0025 | hydrogen | basalts | 2 |
|    |           |        |          |         |   |
| 0  | 2,846500  | 0,0025 | hydrogen | basalts |   |
| 20 | 2,321500  | 0,0025 | hydrogen | basalts | 1 |

*Key results.* Analysis of the results of the implementation of instrumental measurement procedures at first stage and the additional ones given above allows us to state the following.

1. The Trois Evêchés block, surveyed in reconnaissance mode, is located within a volcanic complex filled with psammities, in which hydrocarbon synthesis from hydrogen and carbon migrating from below takes place at depth.

2. In volcanic structures, in which conditions exist for the synthesis of HC at a depth of 57 km, it is impractical to conduct exploration work and drill wells only for hydrogen!

3. The volcanic complex filled with basalts (Fig. 26) adjoins the Trois Evêchés block from the southeast.

4. Within the localized basalt structure (Fig. 26), it is advisable to conduct additional detailed studies in order to localize sites for drilling wells for natural hydrogen.

*Some comments.* In the process of analyzing and comparing the results of the reconnaissance survey of the "Trois Evêchés" license block, local areas within it and implementing additional instrumental measurement procedures, a site with a basaltic volcanic structure was localized, within which 12 hydrogen-saturated layers were recorded by sounding the section interval of 0-5 km.

The results of the reconnaissance survey on the well drilling area once again demonstrated the efficiency and informativeness of frequency-resonant methods for processing and decoding satellite and photo images when searching for mineral deposits (accumulations of natural hydrogen, in particular).

The following should be considered a fundamentally important result of the conducted experimental studies. The fragment of the localized basalt structure in Fig. 24, 25 occupies a very small area, and the responses (signals) at the frequencies of basalts and hydrogen are recorded practically without delays in the process of frequency-resonance processing of the entire image!

In general, the informativeness of the methodology for integral assessment using frequency-resonance methods of the prospects for detecting mineral deposits on large



exploration blocks and local areas makes it possible to quickly assess the feasibility of conducting detailed exploration work within their boundaries.

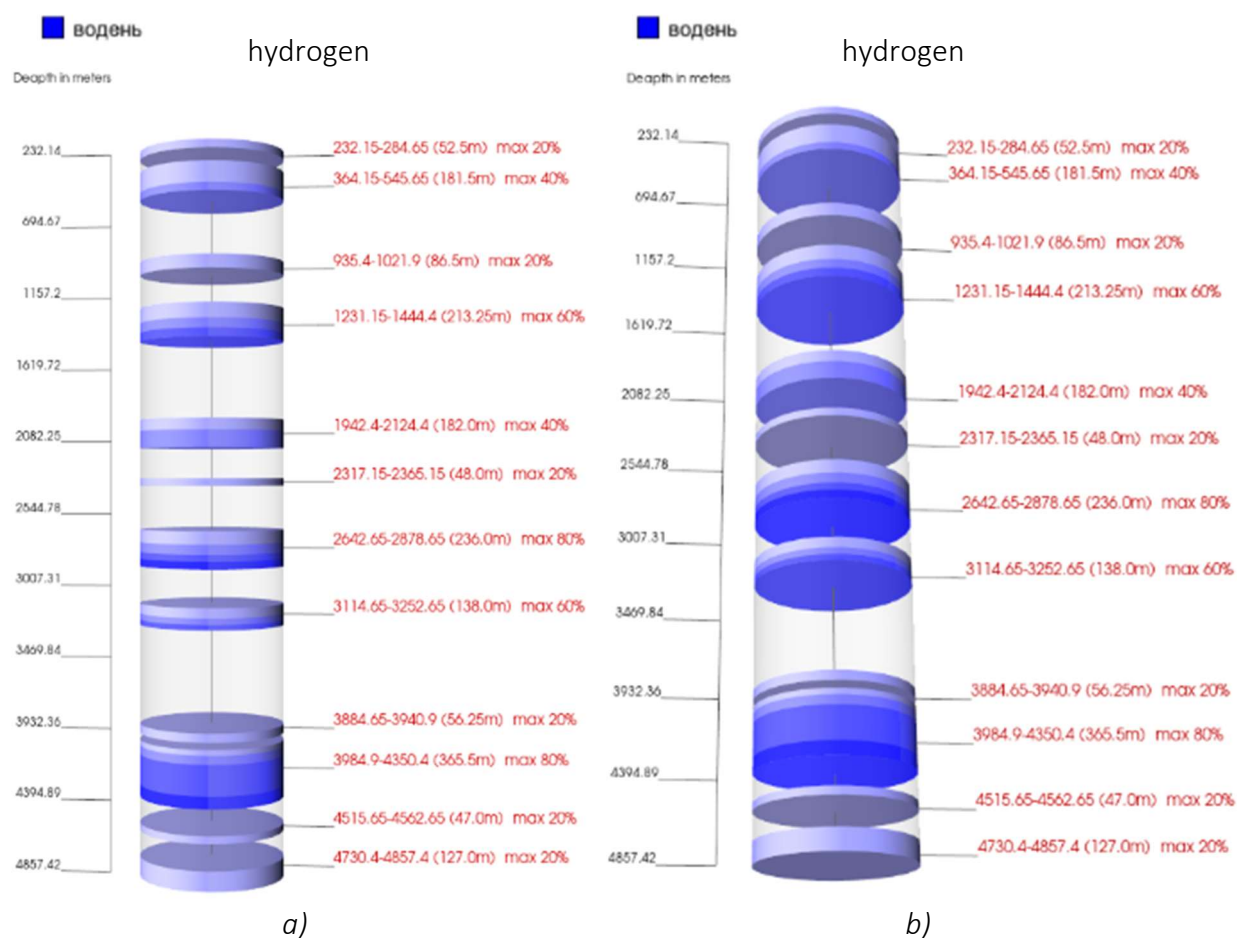


Fig. 27. Response recording intervals at hydrogen frequencies in graphic format.

The materials presented in the article, as well as previously published results of experimental work in various regions [20-30] indicate the feasibility of using mobile direct search methods of frequency-resonant processing of satellite images and photographs to detect and localize hydrogen accumulation zones in areas of basalt volcanic complexes, as well as in areas of hydrogen degassing. The use of mobile and low-cost technology will significantly accelerate the geological exploration process for natural hydrogen, as well as reduce the financial costs of its implementation.

#### Results of the reconnaissance survey of the hydrogen production site in Mali

To demonstrate the performance, informativeness, and effectiveness of direct search technology, this fragment presents the results of a rapid survey in reconnaissance mode of a hydrogen production site in Mali.

**Results of the reconnaissance survey.** First of all, we note that an additional survey of the hydrogen production site in Mali was conducted to demonstrate the operability and effectiveness of mobile direct search technology and the feasibility of its use in combination with traditional geological and geophysical methods when conducting exploration work and drilling wells for natural hydrogen, including in Mali.

Given the results of large-scale testing of mobile technology at the hydrogen production site, a limited set of instrumental measurement procedures was promptly implemented. The features and results of all implemented procedures are not described in this paper.

A satellite image of the hydrogen production site with wells (Fig. 28), published in the article [2], was used to conduct the reconnaissance survey. Additionally, images of the survey site of various areas were prepared in the Google Earth software package in Fig. 29, 30.

At the first (initial) stage of the survey using a fragment of a satellite image with wells in Fig. 28 and a photomontage of the frequency spectrum of basalts (Fig. 19), instrumental measurements established that signals (responses) at the frequencies of basalts and gabbro were recorded in the depth range of **0.446-470 km**.

The obtained results of instrumental measurements allowed us to immediately conclude that the hydrogen production site is located in the area of a basalt volcanic complex with a root at a depth of 470 km! And in the process of many years of testing the technology [22-25], it was established that in areas, where basalt volcanic structures are located, responses (signals) at hydrogen frequencies are almost always recorded everywhere!

The instrumental measurements establishing the presence of a basaltic volcanic complex with a root at a depth of 470 km at the hydrogen production site in Mali allowed us to immediately proceed to the next stage of instrumental measurements - scanning (sounding) of the section in order to determine the intervals of responses (signals) fixation at hydrogen frequencies. Given the depths of the drilled wells, it was decided to scan the depth interval 0-2 km with a very detailed step of 1 cm. In the process of implementing the scanning procedure, a satellite image with wells (Fig. 28) and a sample (frequency spectrum) of hydrogen (Fig. 21) were used.

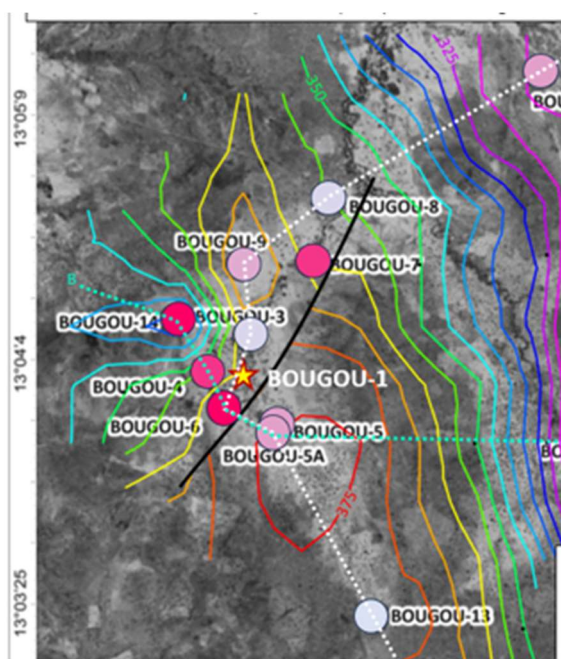


**Fig. 28.** Fragment of satellite image with wells at a hydrogen production site in Mali [2].



**Fig. 29.** Satellite image (Google Earth) of a hydrogen production site in Mali.

It should also be noted that the results of scanning (sounding) the section are provided in tabular and graphical formats using separate software modules. Thus, the results of the section scanning in the area with wells (Fig. 28) are given below in Table 3 and in Fig. 31 in two graphical formats.



Fig. 30. Satellite images (Google Earth) with hydrogen production sites in Mali of various sizes.

Table 3. Results of sounding the interval 0-2 km.

| Амплітуда           | Глибина (100м) | Крок  | Amplitude        | Depth (100m) | Step  |
|---------------------|----------------|-------|------------------|--------------|-------|
| 0                   | 19,372000      | 0,001 | 0                | 8,256000     | 0,001 |
| 20                  | 18,971000      | 0,001 | 80               | 7,872000     | 0,001 |
| 0                   | 18,286000      | 0,001 | 60               | 7,469000     | 0,001 |
| 100                 | 18,128000      | 0,001 | 40               | 7,232000     | 0,001 |
| 80                  | 18,008000      | 0,001 | 20               | 6,348000     | 0,001 |
| 60                  | 17,857000      | 0,001 | 0                | 4,682000     | 0,001 |
| 40                  | 17,706000      | 0,001 | 20               | 3,575000     | 0,001 |
| 20                  | 17,256000      | 0,001 | 0                | 3,047000     | 0,001 |
| 0                   | 13,799000      | 0,001 | 20               | 2,424000     | 0,001 |
| 40                  | 13,447000      | 0,001 | 0                | 2,272000     | 0,001 |
| 20                  | 12,977000      | 0,001 | 20               | 1,597000     | 0,001 |
| 0                   | 10,590000      | 0,001 | 0                | 1,403000     | 0,001 |
| 100                 | 10,446000      | 0,001 | 20               | 1,006000     | 0,001 |
| 80                  | 10,257000      | 0,001 | 0                | 0,804000     | 0,001 |
| 60                  | 10,025000      | 0,001 | 20               | 0,610000     | 0,001 |
| 40                  | 9,668000       | 0,001 | 0                | 0,441000     | 0,001 |
| 20                  | 8,770000       | 0,001 | 20               | 0,264000     | 0,001 |
| Interval 2000-850 m |                |       | Interval 850-0 m |              |       |

In the process of performing measurement procedures of vertical scanning of the section, the intervals of fixation of responses (signals) at hydrogen frequencies with different intensity (amplitude) of signals are additionally determined. In Table 3 and Fig. 31, such intervals are shown (in percentages of the maximum intensity (amplitude) of signals). In the section intervals with response intensity of 60% and more, the probability of detecting hydrogen deposits in industrial quantities increases significantly.



We also emphasize that the scanning of the section was carried out using the entire image in Fig. 28. Therefore, the estimates of the depths of prospective intervals (layers) obtained during scanning are integral (averaged over the entire image area) values. To obtain point estimates of the depths of productive intervals, the image in Fig. 28 must be divided into separate fragments and the scanning procedures must be performed for each fragment of the area separately.

To demonstrate the capabilities of the modules for graphical visualization of processing results, Fig. 32 additionally shows a map-scheme of the total capacity of gas-saturated layers in a three-dimensional version together with the sounding columns of the section at 9 points in two formats.

The developed software modules (procedures) for graphical visualization of the results of frequency-resonance processing of satellite images allow to accelerate and optimize the process of exploration and detailed examination of large search blocks and local areas using mobile direct search methods.

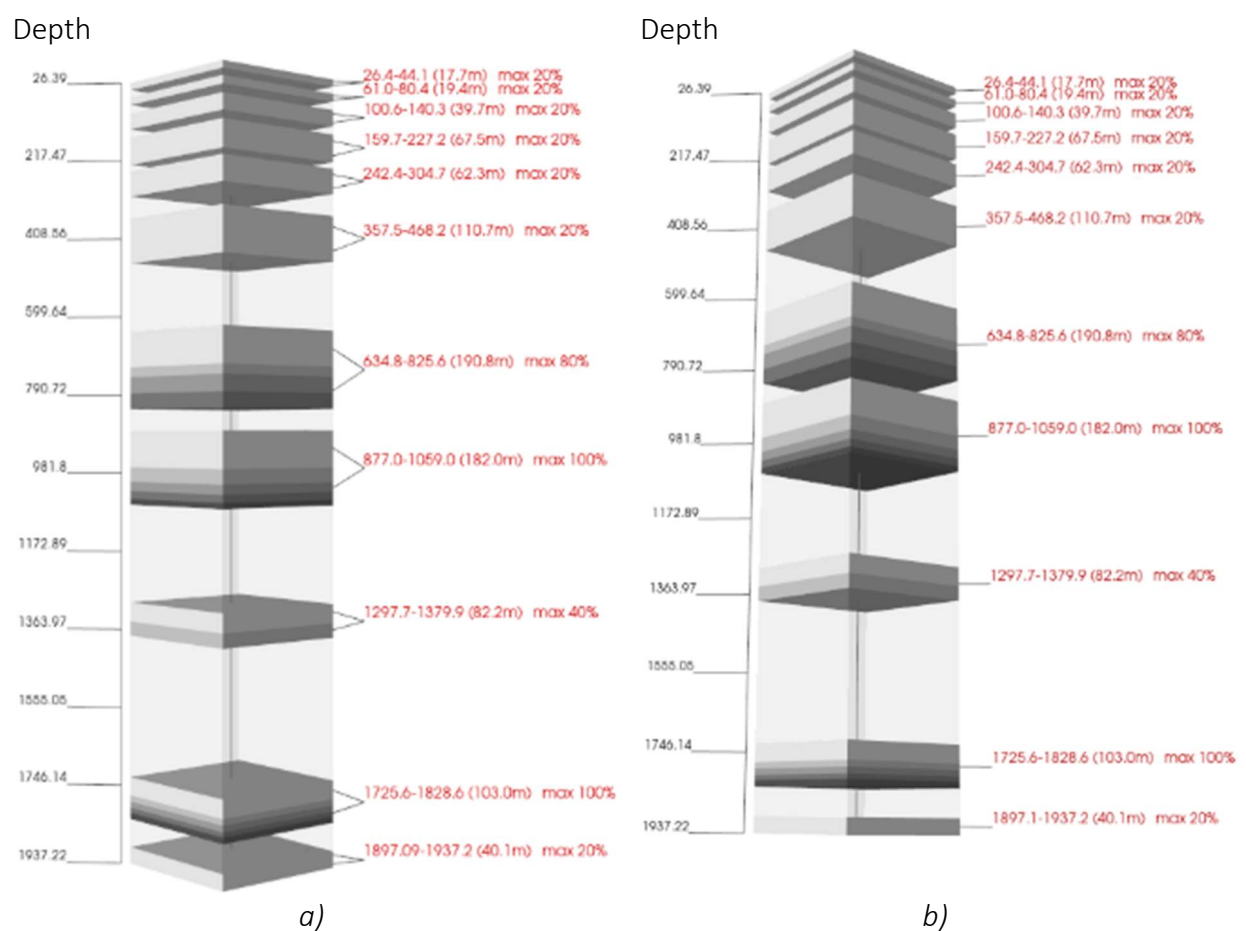


**Fig. 31.** Visualization of the results of scanning the section in the depth range of 0-2000 m.

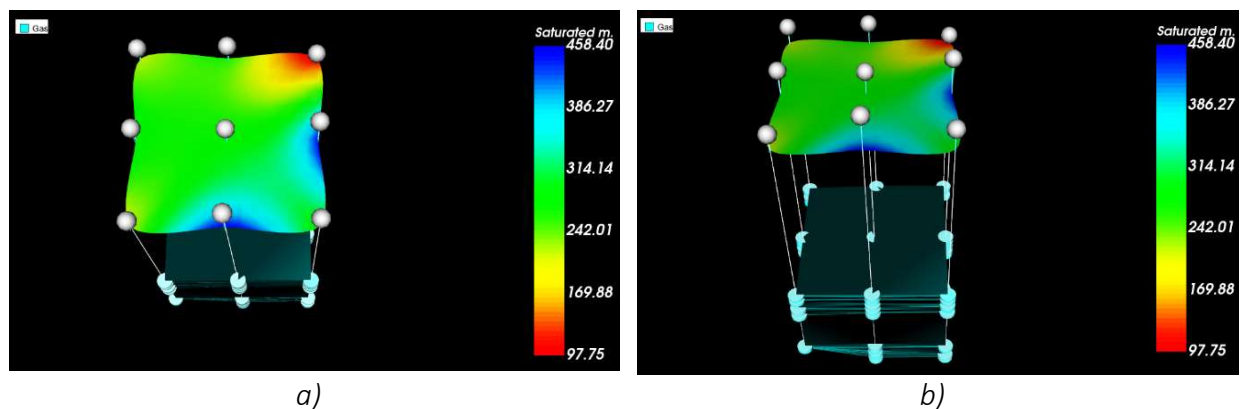


**Fig. 32.** Three-dimensional graphical representation of the results of scanning the section at 9 points.

*Some comments.* In the process of conducting an additional survey using direct search technology of the natural hydrogen extraction site in Mali, interesting and noteworthy results were obtained.

1. In the surveyed area, instrumental measurements established the presence of a volcanic complex with a root at a depth of 470 km, filled with basalts and gabbro. Such results can be considered an additional and weighty argument in favor of the availability (presence) of hydrogen in industrial (commercial) volumes in areas with basalt volcanic structures, on the one hand. On the other hand, it is impractical to conduct search work and plan drilling of wells for natural hydrogen within local areas and large blocks in areas where basalt volcanic complexes are absent!

2. Within the surveyed area (Fig. 28), volcanic structures of a different type may be located, the presence of which can be established during its survey in a detailed mode with the implementation of an expanded set of instrumental measurement procedures.

3. Basalt volcanic complexes can be detected during frequency-resonant processing of satellite images with the hydrogen production area shown in Figs. 30. On the territory of these blocks, volcanic structures may also be located in which there are conditions for the synthesis of HC (oil, condensate, gas) at a depth of 57 km.

4. Implementation of an expanded set of instrumental measurement procedures using satellite images of the blocks in Figs. 30 will allow assessing the feasibility of conducting detailed geological and geophysical studies, as well as drilling exploratory wells for natural hydrogen outside the surveyed area (Fig. 28) of hydrogen production.

5. As a result of reconnaissance studies conducted in Mali, additional evidence was obtained in favor of the volcanic model of the formation of structural elements of the Earth and deposits of minerals, including natural hydrogen. In this regard, we draw attention to the following. In the process of preparing for frequency-resonant processing and analysis of satellite images of various areas (in Figs. 33 in particular), concentric structural elements characteristic for volcanoes were discovered in the surface relief of the hydrogen extraction site. In the contours of these concentric structures, during their processing in a detailed mode, small areas for drilling wells for hydrogen can be localized, on which natural hydrogen deposits can be detected by scanning the section in deep and ultra-deep horizons of the section in much larger volumes than in the drilled part of the section.

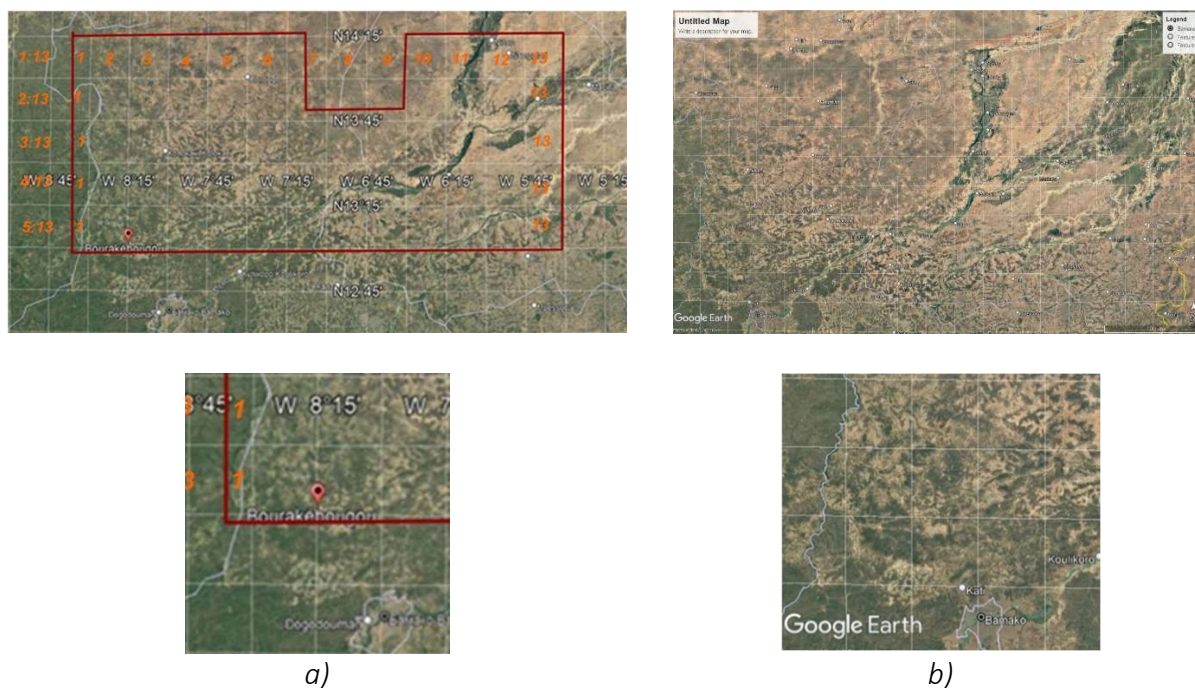


**Fig. 33.** Satellite images (Google Earth) of large and local fragments of the territory of Mali with a hydrogen production site.

6. As an example, the results of the survey of concentric structures obtained in the process of constructing a computer map of the relief of a fragment of the territory of the state of Nevada are given in the article [30].

#### **Results of application for selecting a site for drilling a hydrogen well**

**Survey of a large area.** At the initial stage of research to search for hydrogen accumulations in reconnaissance mode, frequency-resonant processing of a satellite image of the territory in the search area was carried out (Fig. 34a). At the second stage of work, an examination of individual fragments of the image in Fig. 34a was carried out in order to localize areas of hydrogen accumulation in the cross-section.

During the frequency-resonance processing of the entire satellite image of the search area (Fig. 34a), signals were recorded from the surface at the frequencies of hydrogen, oil, condensate, gas, amber, methane-oxidizing bacteria, phosphorus (red, yellow), combustible shales, gas hydrates, anthracite, hydrogen bacteria, living water, dead water (weak intensity, 7 s), and ice. Responses from deep basalts and sodium chloride salt were not received.

Signals were recorded from 1-6th, 7th (limestones), 8th (dolomites), 9th (marls) and 10th (siliceous) groups of sedimentary rocks, as well as 6th (gabbro and basalts), 6A (dolerites and andesites), 6B (lamproites) and 14th groups of igneous rocks.

At the surface (depth) of the HC synthesis 57 km, responses from oil, condensate, gas, amber, phosphorus (yellow), nitrogen, carbon, hydrogen, living water were recorded, and at a depth of 59 km - from dead water, oxygen and carbon dioxide. At the surfaces of 13 km and 48 km, no responses from dead water were received.

Responses from oil from limestones were recorded at a depth of 57 km, and at the surfaces of 11 km, 13 km and 46 km they were not recorded. Signals from oil from psammites (the second group of sedimentary rocks) at a depth of 11 km were absent.

By recording responses on different surfaces, the depths of the roots of the following volcanic complexes were determined: 1) 1-6 groups of sedimentary rocks - 470 km; 2) limestones - 470 km; 3) dolomites - 470 km; 4) basalts - 470 km; 5) siliceous rocks - 723 km. Responses from granites (old) were recorded from the interval 470-996 km. Responses from marls on the surface



of 50 km were absent, which indicates the location of the root of the volcano with marls outside the survey area.

In general, the territory of the reconnaissance survey in Fig. 34a is promising for the search for predicted accumulations of oil, condensate, gas, amber, hydrogen, living (healing) water.

Later, when processing individual fragments of the satellite image in Fig. 34, responses were recorded only from the search component (hydrogen), some types of rocks and individual chemical elements.

**Results of the local area survey.** The position of the local area survey on the satellite image of the hydrogen cluster search area is shown in Fig. 34.

In the process of processing the fragment of the image with the cutout in Fig. 34b, responses were registered only from the 10th group of sedimentary (siliceous) rocks.

During processing of a local fragment of the image of the area in Fig. 34c, responses were recorded at the frequencies of hydrogen, red phosphorus, nitrogen (weak intensity), hydrogen bacteria, living water, the 8th (dolomite) group of sedimentary rocks and the 6th (basalt), 6A, 6B groups of igneous rocks.

By scanning the section from the surface with a step of 1 cm, the upper edge of the basalts was recorded at a depth of 9 m; responses from the basalts were traced by scanning with steps of 10 cm and 1 m to 1 km (deeper scanning was not carried out). The root of the basalt volcano was determined at a depth of 470 km by fixing responses on different surfaces.

When scanning the section from the surface, step 5 cm, the following responses were recorded at the hydrogen frequencies from basalts, m: 21– (from 50 – to step 10 cm) – (67 – intense – 78) – (170 – intense 200)(210 – intense – (220 - very intense – 245)) – (269-intensive – (306 very intense – 360)) (450 – intensive –475) – (500 – intensive (640 – very intense – 675)) – (730 – intensive – 755) – (775 – intensive – 798) (900 – intensive – 912) (935 – intensive – (965 – very intense – 1008)).....(no further scanning was performed).

On the surface 10 m from the top of the section, responses from hydrogen, red phosphorus and living water were obtained.

On the surface 0 m from the top of the section, signals from hydrogen and red phosphorus (migration of gases into the atmosphere) were recorded.

When scanning the section from the surface with a step of 1 cm, responses from hydrogen were obtained from the interval 1.0-3.8 m; then signals began to be recorded from 23 m.

In the process of scanning the section from the surface, step 1 cm, the following responses were obtained from living water, m: 1-(9-10 - intensive) (from 20 m, 10 cm step)-(30 - intensive - (82 - very intense - 147)) (170 - intensive, very intense 220) (further scanning was not carried out).

When processing the image from the surface, signals from the following dolomite samples from the collection were recorded: 1) replacement dolomite (131); 2) cavernous dolomite (133).

Responses from replacement dolomites were recorded when scanning with steps of 1 cm and 10 cm from 4 m to 100 m (no further scanning was carried out). At a depth of 10 m, intense signals were recorded.

When scanning the section 0-10 m, step 1 cm, responses at the frequencies of cavernous dolomites were obtained from the interval 1.40-4.40 m. Hydrogen signals from replacement dolomites in this section interval were absent.

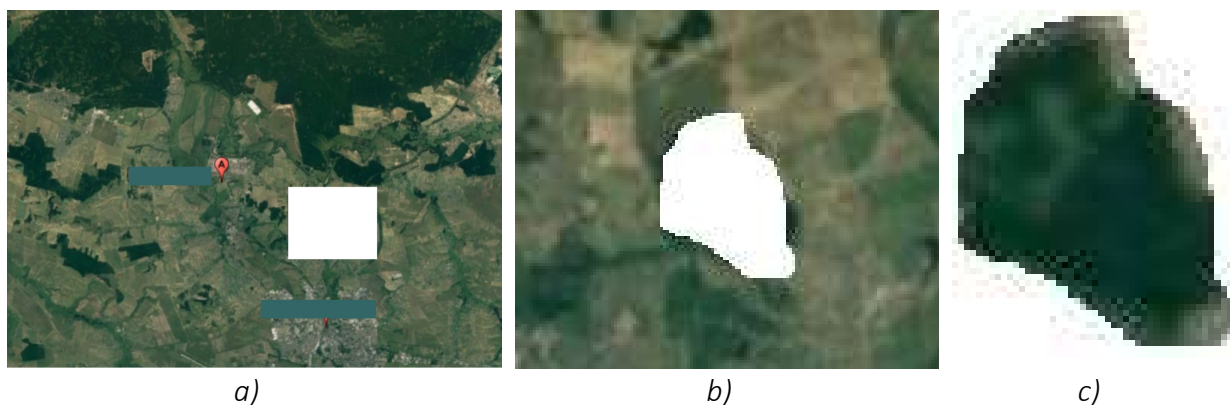


**Fig. 34.** Location of the local area on a satellite image of the hydrogen cluster search area.

At a depth of 10 m, responses from cavernous dolomites were obtained only from the upper part of the section.

From the interval 0-10 m, no responses from living water from cavernous dolomites were obtained when scanning the section with a step of 1 cm.

When scanning the section from the surface, step of 1 cm, responses from living water from replacement dolomites were obtained from the interval 12 cm - 8.9 m. At a depth of 9 m, responses from living water from replacement dolomites were absent from the lower part of the section.

In order to verify and clarify the obtained data, a satellite image of the local area was also processed on a larger scale (Fig. 35). Separate fragments of the local area are shown in Fig. 36.



**Fig. 35.** Satellite image (Google Earth) of the local survey area.

Responses at the frequencies of hydrogen and red phosphorus were not recorded when processing the image in Fig. 36a.

When processing the image in Fig. 35 with a cutout of the fragment in Fig. 36a, responses from hydrogen and red phosphorus were recorded, but not obtained with a cutout of the fragment in Fig. 36b.

Signals from hydrogen and red phosphorus were recorded during processing of the image fragment in Fig. 36b. Responses from dolomites within this fragment were not obtained. When scanning the section from the surface, step 1 cm, responses from basalts began to be recorded from 9.5 m. The root of the basaltic volcano was determined at a depth of 470 km. On the surface 10 m from the upper part of the section, responses from the 2nd (psammities), 3rd, 4th and 8th groups of sedimentary rocks were obtained.

Within the fragment of the image in Fig. 36a, responses were received only from the 8th (dolomite) group of sedimentary rocks. At a depth of 50 km, signals were also recorded only from

these rocks. When scanning the section from the surface, with a step of 1 cm, responses from replacement dolomites (131) began to be recorded from 3.8 m, and from cavernous dolomites - from 2.8 m. On the surface 4 m from the upper part of the section signals were received from the 2nd (psammites), 3rd, 4th and 8th groups of sedimentary rocks.



**Fig. 36.** Satellite images (Google Earth) of fragments of the local survey area.

Frequency-resonance processing of images of two small zones (Fig. 37b and 37c) within the survey fragment in Fig. 36b was also carried out.

During the processing of the image in Fig. 37b, responses from basalts, living water, hydrogen, hydrogen bacteria, and red phosphorus were recorded from the surface. By scanning the section, step 1 cm, the upper edge of the basalts was recorded at a depth of 7.9 m.

When scanning the section from the surface, step 1 cm, hydrogen responses were obtained from the following intervals, m: 1) 2.6-4.5 m, 2) 24.5- (from 25 m in 10 cm steps) (85-intensive-107)-(123-intensive-(150- very intensive -192))(214-intensive -270)-(290-intensive -326)-(365-intensive -388)-(420-intensive -430)-(445-intensive -(450-very intensive- 486))...( up to 500 m traced).

Within the image in Fig. 37c, no responses from basalts, hydrogen, and red phosphorus were obtained. Only signals from salt were recorded. The upper edge of the salt was recorded by scanning with a step of 10 cm at a depth of 17 m. The root of the salt volcano was determined at a depth of 723 km.

From the surface, within the contours of the image in Fig. 37c, no responses from oil, gas, and white phosphorus were obtained. It should also be noted that during additional examination of the image in Fig. 36b, weak intensity responses from salt were recorded (with a delay of 9 s).

The image fragment in Fig. 37b is divided into four local zones (Fig. 38), the frequency-resonance processing of which was carried out additionally.

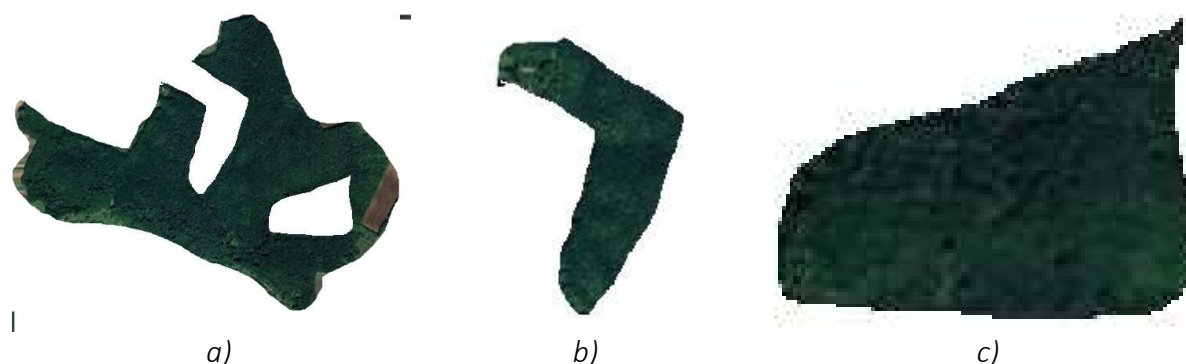


**Fig. 37.** Images (Google Earth) of small treatment areas and their placement on a fragment of the local survey area.

*Zone 1 (Fig. 38a).* During the processing of the image in Fig. 38a, responses from basalts, living water, hydrogen, hydrogen bacteria, red phosphorus were recorded from the surface; signals from 6A and 6B rock groups were absent. The upper edge of the basalts was determined by scanning with a step of 1 cm at a depth of 2 m.

When scanning the section from the surface, step 1 cm, responses from hydrogen were recorded at an interval, m: 7.5-(from 10 m to step 10 cm)-(78-very intense -(122-super intense - 144))-(260-intensive -336- intensive -410)-(470-intensive -500).

*Zone 2 (Fig. 38b).* Within the image in Fig. 38b, weak intensity responses were obtained from hydrogen (7 s), red phosphorus (7 s), hydrogen bacteria (10 s). Responses from salt and sedimentary rocks were absent. Responses from basalts were obtained with a delay, and from 6A and 6B groups of igneous rocks immediately. By scanning the section, step 10 cm, the upper edge of basalts was determined at a depth of 46 m.

At a depth of 46 m, responses at the frequencies of hydrogen, living water and phosphorus (red) from the lower part of the section were registered without delay; from the upper part of the section, signals of these elements were absent.

At a depth of 46 m, responses were received from the upper part of the section only from 6A and 6B groups of rocks; from the lower part of the section, signals from these rocks were absent. When scanning the section with a step of 1 cm, responses from rocks of the 6B group began to be recorded from 2.8(3.0) m, and from the 6A group - from 3 m.

When scanning a section from 40 m, step 1 cm, hydrogen responses were recorded from the interval, m: 47-(50 - intensive-54) (in 10 cm steps) - (108 - intensive -140) - (155 - intensive - 210)-(310- intensive -320)-(425-intensive -(430-very intense -450))-(520-very intense -620))....

We also note that hydrogen responses were also obtained at a depth of 41 m, but immediately disappeared.

*Zone 3 (Fig. 38c).* During the processing of the image of the zone, responses from basalts, living water, hydrogen, hydrogen bacteria, red phosphorus were recorded; signals from 6A and 6B rock groups were absent. The upper edge of the basalts was recorded by scanning with a step of 10 cm at a depth of 29 m. Responses from hydrogen from basalts began to be recorded when scanning from 31 m.



**Fig. 38.** Images (Google Earth) of local treatment zones within the area in Fig. 37b.

*Zone 4 (Fig. 38d).* Within the image of the zone, responses from basalts, living water, hydrogen, hydrogen bacteria, red phosphorus were recorded; signals from 6A and 6B rock groups were absent. The upper edge of the basalts was recorded by scanning with a step of 10 cm at a depth of 18 m. Responses from hydrogen from basalts began to be recorded when scanning from 32 m.

The local zone in Fig. 38a is a priority object for drilling a hydrogen well! The area of this zone is approximately 100×200 m (150×300 m).

*Some comments.* Within the survey area, in the process of frequency-resonance processing of satellite images of local sites of different areas, a zone of accumulation of hydrogen and living (healing) water was detected and localized. Such zones are almost always recorded in areas of volcanic structures filled with basalt rocks. In the process of crushing satellite images into fragments of different sizes, the most promising areas (zones) for drilling exploratory wells were detected and localized. Scanning the section with steps of different sizes determined the thickness and depth of the most promising reservoirs with hydrogen, as well as living (healing) water.

In general, a significant amount of new (additional and independent) information was promptly obtained, which indicates the feasibility of drilling exploratory wells for hydrogen and allows determining the optimal locations for their installation.

### **Conclusion**

The materials of reconnaissance experimental studies presented in the article, as well as published in [10-12, 19-30], clearly demonstrate the efficiency, information content and performance of direct-prospecting methods of satellite images and photographs frequency-resonance processing during the integral assessment of the prospects of hydrogen accumulations detecting in the survey areas, as well as in the intervals of cross-section of local areas. The results of experimental work in various regions indicate the feasibility of using direct-prospecting methods of satellite images and photographs frequency-resonance processing and decoding to detect and localize hydrogen accumulation zones in the areas of basalt volcanoes, as well as in areas of hydrogen degassing. The use of super-efficient and low-cost direct prospecting technology will significantly speed up the exploration process for natural hydrogen, as well as reduce financial costs for its implementation.



## References

1. A Successful World First for Natural Hydrogen. <https://www.actusnews.com/en/la-francaise-de-l-energie/pr/2026/03/23/a-successful-world-first-for-natural-hydrogen-success-of-the-pt-2-well-dedicated-to-natural-hydrogen-fde-confirms-new>
2. Arnout Everts. A large natural hydrogen gas accumulation or an aqueous hydrogen seepage with localised gas pockets? <https://geoexpro.com/a-large-natural-hydrogen-gas-accumulation-or-an-aqueous-hydrogen-seepage-with-localised-gas-pockets/>
3. Excitement grows about 'natural hydrogen' as huge reserves found in France. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/excitement-grows-about-natural-hydrogen-as-huge-reserves-found-in-france/>
4. FDE announces the discovery of natural hydrogen in the Lorraine mining basin. <https://www.francaisedelenergie.fr/en/news/>
5. <https://www.lasemaine.fr/economie/moselle-la-presence-importante-dhydrogene-naturel-dans-le-sous-sol-est-confirmer/>
6. <https://mesinfos.fr/hydrogene-naturel-un-forage-confirme-les-espoirs-en-moselle-243492.html>
7. <https://georessources.univ-lorraine.fr/en/regalor-2-project/>
8. <https://geoexpro.com/a-monumental-deposit-or-an-attempt-to-revive-coal-seam-gas-exploitation/>
9. Lefeuvre, N., Thomas, E., Truche, L., Donze, F.-V., Cros, T., Dupuy, J., et al. (2024). Characterizing natural hydrogen occurrences in the Paris Basin from historical drilling records. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 25, e2024GC011501. <https://doi.org/10.1029/2024GC011501>
10. Mykola Yakymchuk, Ignat Korchagin, Valery Soloviev. Universal direct search frequency-resonance technologies for solving structural and exploration geological problems. LAP Lambert Academic Publishing. 24 July 2024. P. 184. Language: English. ISBN-10: 6207652274, ISBN-13: 978-6207652273. <https://my.lap-publishing.com/catalogue/details/gb/978-620-7-65227-3/universal-direct-search-frequency-resonance-technologies-in-geology>  
<https://www.amazon.co.uk/Universal-Direct-Frequency-resonance-Technologies-Geology/dp/6207652274>
11. Mykola Yakymchuk, Ignat Korchagin. Technology of satellite and photo images frequency-resonance processing: results of testing at three large exploration blocks and well drilling sites on the Lebanon and Israel offshore. Publisher.agency: Proceedings of the 5th International Scientific Conference «Foundations and Trends in Research» (February 15-16, 2024). Amsterdam, Netherlands, 2024. P. 136-160. ISBN 978-3-4547-7498-7 DOI 10.5281/zenodo.10676608 <https://ojs.publisher.agency/index.php/ERM/issue/view/70>.
12. Mykola Yakymchuk, & Ignat Korchagin. (2025). Mobile direct-prospecting technology of satellite images and photographs frequency-resonance processing: main results of large-scale approbation at sites of exploration well drilling on onshore and offshore in various regions of globe. *Modern Scientific Technology*, (9). Retrieved from <https://ojs.publisher.agency/index.php/MSCT/article/view/5306>
13. Natural hydrogen: a new major discovery in the mining basin in Lorraine? <https://time.news/natural-hydrogen-a-new-major-discovery-in-the-mining-basin-in-lorraine/>
14. Paul Halas, Alain Dupuy, Michel Franceschi, Vincent Bordmann, Jean-Marc Fleury, Dominique Duclerc / Hydrogen gas in circular depressions in South Gironde, France: Flux, stock, or artefact? *Applied Geochemistry* 127 (2021) 104928. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.104928>



15. Privalov, V.; Pironon, J.; de Donato, P.; Michels, R.; Morlot, C. Natural Fracture Systems in CBM Reservoirs of the Lorraine–Saar Coal Basin from the Standpoint of X-ray Computer Tomography. *Environ. Sci. Proc.* 2021, 5, 12. <https://doi.org/10.3390/IECG2020-08772>

16. Pryvalov V., Pironon J., de Donato P., Michels R., Izart A., Morlot C., Panova O. Multi-scale structural inheritance of fracture systems pattern in coal-bearing measure of the Lorraine-Saar coal Basin. *Geofizicheskiy Zhurnal*. № 1, T. 44, 2022. P. 40-54.

17. Shestopalov V.M. On geological hydrogen. *Geophys. Journal*, 42(6), 3-35. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020> (in Russian).

18. 'Significant concentrations' of natural hydrogen discovered in northeast France by local power and gas producer. <https://www.hydrogeninsight.com/production/significant-concentrations-of-natural-hydrogen-discovered-in-northeast-france-by-local-power-and-gas-producer/2-1-1452270>

19. Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bakhmutov V.G., Solovjev V.D. Geophysical investigation in the Ukrainian marine Antarctic expedition of 2018: mobile measuring equipment, innovative direct-prospecting methods, new results. *Geoinformatika*, 2019, no. 1, pp. 5-27 (in Russian).

20. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N., Levashov, S. P. Direct-prospecting mobile technology: the results of approbation during searching for hydrogen and the channels of migration of deep fluids, mineral substances and chemical elements. *Geoinformatika*, 2019, no. 2, pp. 19-42 (in Russian).

21. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. Technology of frequency-resonance processing of remote sensing data: results of practical approbation during mineral searching in various regions of the globe. Part I. *Geoinformatika*, 2019, no. 3, pp. 29-51; Part II. *Geoinformatika*. 2019. no. 4, pp. 30-58; Part III. *Geoinformatika*. 2020. no. 1, pp. 19-41; Part IV. *Geoinformatika*. 2020. no. 3, pp. 29-62; Part V. *Geoinformatika*. 2021. no. 3-4, pp. 51-88 (in Russian).

22. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. Application of mobile frequency-resonance methods of satellite images and photo images processing for hydrogen accumulations searching. *Geoinformatika*, 2019, no. 3, pp. 19-28 (in Russian).

23. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. Direct-prospecting technology of frequency-resonant processing of satellite images and photos images: results of use for determining areas of gas and hydrogen migration to the surface and in the atmosphere. *Geoinformatika*, 2020, no. 3, pp. 3-28 (in Russian).

24. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. Direct-prospecting technology of frequency-resonance processing of satellite images and photo images: potential opportunities and prospects of application for natural hydrogen accumulations searching. *Geoinformatika*, 2020, no. 4, pp. 3-41 (in Russian)

25. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. Depth structure features of large zones of hydrogen degassing in various regions of the earth by results of frequency-resonance processing of satellite and photos images. *Geoinformatika*, 2021, no. 1-2, pp. 3-42 (in Russian).

26. Yakymchuk, N. A., Korchagin, I. N. On the prospects of the technology of remote sensing data frequency-resonance processing using when conducting profiles geoelectric and seismic studies. *Geoinformatika*. 2021. no. 3-4, pp. 18-50 (in Russian).

27. Yakymchuk M. A., Korchagin I. M. Technology of satellite images frequency-resonance processing: discovery of basalt volcanoes with hydrogen and living water on the Ukraine territory // Modern research in world science. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2022. Pp. 310-318. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-research-in-world-science-4-6-09-2022-lviv-ukrayina-arhiv/>.

28. Yakymchuk M. A., Korchagin I. M. Technology of satellite images frequency-resonance processing: discovery of basalt volcanoes with hydrogen and living water in various regions of Earth // Modern research in world science. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2022. Pp. 319-328. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-research-in-world-science-4-6-09-2022-lviv-ukrayina-arhiv/>

29. Yakymchuk M. A., Korchagin I. M. Approbation of mobile methods of satellite images and photographs frequency-resonance processing within local areas of hydrogen degassing in France. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Kyiv, Ukraine. 2023. Pp. 389-398. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-problems-of-science-education-and-society-9-11-10-2023-kiyiv-ukrayina-arhiv/>

30. Yakymchuk M.A., Korchagin I.M. Frequency-resonance methods of satellite images and photographs processing: application for oil and gas prospecting in the state of Nevada (USA) // Global trends in science and education. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Kyiv, Ukraine. 2025. Pp. 228-237. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-global-trends-in-science-and-education-1-3-07-2025-kiyiv-ukrayina-arhiv/>.

31. Zwaan, F., Pilz, P., Niedermann, S., Zimmer, M., Lefevre, N., Petit, V., Vieth-Hillebrand, A., Gaucher, E.C., Schmidt-Hattenberger, C., Brune, S. (2024). Soil and spring water gas data from an area with natural hydrogen (H<sub>2</sub>) degassing, NW Pyrenean foreland, France. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.5.2024.001>

## Geographic Sciences

# БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫ ТЕРЕКТІК АУДАНЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ- ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ

**Орынбасарова Гүлдана Нұрболқызы**

2 курс магистранты, 7M05213-География білім беру бағдарламасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекші:

**Салихов Талғат Құмарұлы**

Қазақстан Республикасы Ұлттық аграрлық ғылым академиясының корреспондент-мүшесі, а.ш.ғ.к., қауымдастырылған профессор.

**Аннотация.** Бұл зерттеу жұмысында Батыс Қазақстан облысы Теректі ауданының физикалық-географиялық жағдайына кешенді талдау жүргізіліп, геоинформациялық жүйелер (GIS) технологиялары негізінде аумақтың физикалық картасы құрастырылды. Зерттеу барысында сандық биіктік моделі (DEM), SRTM деректері, гипсометриялық талдау, hillshade модельдеу және картографиялық әдістер қолданылды. Аудан аумағының жер бедерінің морфометриялық ерекшеліктері, абсолюттік биіктіктердің таралу заңдылықтары, гидрографиялық тордың қалыптасуы және геоморфологиялық құрылымы анықталды. GIS технологияларын пайдалану арқылы зерттеу аумағының кеңістіктік дифференциациясы мен жер бедерінің батыстан шығысқа қарай біртіндеп биіктеу үрдісі айқындалды. Картографиялық талдау нәтижесінде Теректі ауданы аумағы төмен жазық, толқынды жазық және қыратты геоморфологиялық аймақтарға жіктелді. Зерттеу нәтижелері аумақтың табиғи-ресурстық әлеуетін тиімді пайдалануға, жер ресурстарын ғылыми негізде бағалауға және өңірлік геожүйелерді картографиялық зерттеуге ғылыми-тәжірибелік негіз болады.

Қазіргі таңда географиялық зерттеулерде аумақтың табиғи жағдайларын кешенді түрде зерттеу, бағалау және картографиялық талдау жүргізу маңызды ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Жер бедері, гидрография, топырақ жамылғысы және климат сияқты физикалық-географиялық компоненттерді зерттеу табиғи ресурстарды тиімді пайдалану мен ауыл шаруашылығын дамытуда маңызды рөл атқарады. Мұндай зерттеулер аумақтың табиғи әлеуетін бағалауға және жер ресурстарын ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Батыс Қазақстан облысының Теректі ауданы табиғи-географиялық жағдайларының ерекшеліктеріне байланысты ауыл шаруашылығын дамытуға қолайлы аймақтардың бірі болып саналады. Аудан облыстың орталық бөлігінде орналасқан және солтүстігінде Бөрлі ауданымен, шығысында Бәйтерек ауданымен, оңтүстігінде Сырым ауданымен, батысында Шыңғырлау ауданымен шектеседі. Географиялық орналасуы мен табиғи компоненттерінің үйлесімділігі аудан аумағында аграрлық шаруашылықтың қалыптасуы мен дамуына қолайлы табиғи орта қалыптастырған. Сонымен қатар ауданның кеңістіктік орналасуы табиғи-ландшафтық кешендердің әртүрлілігіне және физикалық-географиялық процестердің өзіндік ерекшеліктеріне әсер етеді.

Теректі ауданы аумағында негізінен жазық және толқынды жазық жер бедері басым таралған. Жер бедерінің мұндай сипаты аумақтың геологиялық даму тарихымен және экзогендік геоморфологиялық процестердің әсерімен байланысты қалыптасқан. Ауданның

жер бедері салыстырмалы түрде біркелкі болғанымен, кейбір бөліктерінде ұсақ шоқылы және әлсіз тілімденген бедер элементтері кездеседі. Жер бедерінің морфологиялық құрылымы гидрографиялық тордың қалыптасуына, топырақ жамылғысының таралуына және өсімдік қауымдастықтарының орналасуына тікелей ықпал етеді. Сонымен қатар жер бедерінің ерекшеліктері аумақтың шаруашылық игерілу деңгейіне, ауыл шаруашылығы алқаптарының орналасуына және табиғи ресурстарды пайдалану сипатына әсер етеді.

Аудан климаты шұғыл континенттік типке жатады және температураның маусымдық амплитудасының жоғары болуымен ерекшеленеді. Қыс мезгілі ұзақ әрі суық, ал жаз мезгілі ыстық және құрғақ болып келеді. Қаңтар айының орташа температурасы шамамен  $-14^{\circ}\text{C}$  болса, шілде айында  $+24...+26^{\circ}\text{C}$  аралығында байқалады. Кейбір жылдары жазғы кезеңде ауа температурасы одан да жоғары көрсеткіштерге жетуі мүмкін. Жауын-шашын мөлшері жылына орта есеппен 250–300 мм шамасында түседі және оның басым бөлігі көктем мен жаз айларына сәйкес келеді. Климаттық жағдайлардың мұндай ерекшелігі аумақта құрғақ дала ландшафттарының қалыптасуына әсер етіп, ауыл шаруашылығы саласының мамандану бағытын айқындайды. Сонымен қатар климаттың құрғақтылығы мен буланудың жоғары болуы топырақтың ылғал режиміне және өсімдік жамылғысының таралуына ықпал етеді.

Теректі ауданының гидрографиялық торы салыстырмалы түрде жақсы дамыған. Аудан аумағындағы негізгі су нысандарына Жайық өзенінің салалары болып табылатын Шаған, Барбастау және басқа да шағын өзендер жатады. Өзен аңғарлары мен жайылмалық аумақтар табиғи ылғалдану деңгейінің жоғары болуына байланысты шабындық және жайылымдық жерлердің қалыптасуына қолайлы жағдай жасайды. Сонымен қатар өзен жүйелері аумақтың геоморфологиялық құрылымына әсер етіп, эрозиялық процестердің дамуына ықпал етеді. Су ресурстары ауданның ауыл шаруашылығын сүмен қамтамасыз етуде және табиғи экожүйелердің тұрақтылығын сақтауда маңызды рөл атқарады.

Аудан аумағында негізінен ашық-қоңыр және қоңыр топырақ типтері таралған. Бұл топырақтар механикалық құрамы мен табиғи құнарлылығы жағынан егіншілік пен мал шаруашылығын дамытуға қолайлы болып табылады. Дегенмен климаттың құрғақ болуы мен жел эрозиясының әсері кейбір аумақтарда топырақ деградациясының байқалуына себеп болады. Сондықтан топырақ ресурстарын тиімді пайдалану және оларды қорғау мәселелері қазіргі кезеңде өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады.

Өсімдік жамылғысы дала зонасына тән боз, бетеге, жусан және әртүрлі шөптесін өсімдіктерден құралған. Өсімдік қауымдастықтарының таралуы жер бедері, топырақ және ылғалдану жағдайларымен тығыз байланысты. Табиғи жайылымдардың басым болуы аудан аумағында мал шаруашылығының дамуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар өсімдік жамылғысы топырақты жел және су эрозиясынан қорғауда маңызды экологиялық қызмет атқарады.

**Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты** – Батыс Қазақстан облысы Теректі ауданының физикалық-географиялық жағдайын геоинформациялық жүйелер (GIS) технологиялары негізінде кешенді түрде зерттеу, сандық биіктік моделі (Digital Elevation Model – DEM) арқылы аумақтың жер бедерін морфометриялық тұрғыдан талдау және физикалық картасын құрастыру болып табылады. Сонымен қатар зерттеу барысында аумақтың табиғи компоненттерінің кеңістіктік таралу заңдылықтарын анықтау, жер бедерінің геоморфологиялық ерекшеліктерін бағалау және картографиялық талдау жүргізу көзделді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі қазіргі кезеңде геоинформациялық жүйелер (GIS), қашықтықтан зондтау (Remote Sensing) және сандық картографиялау технологияларының қарқынды дамуына байланысты артып отыр. Заманауи GIS технологиялары табиғи аумақтарды жоғары дәлдікпен зерттеуге, кеңістіктік деректерді өңдеуге, табиғи компоненттердің өзара байланысын анықтауға және әртүрлі масштабтағы картографиялық модельдер құрастыруға мүмкіндік береді. Әсіресе сандық биіктік модельдерін пайдалану

арқылы жер бедерінің морфометриялық көрсеткіштерін анықтау, гипсометриялық және көлеңкелік модельдер жасау қазіргі физикалық-географиялық зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып табылады.

Теректі ауданы табиғи-ресурстық әлеуеті жоғары және ауыл шаруашылығы жақсы дамыған аудандардың қатарына жатады. Осыған байланысты аумақтың жер бедерін, гидрографиялық жүйесін, топырақ және өсімдік жамылғысының таралу ерекшеліктерін ғылыми тұрғыдан бағалау маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Табиғи компоненттердің кеңістіктік құрылымын зерттеу жер ресурстарын тиімді пайдалану, ауыл шаруашылығы салаларын дұрыс орналастыру, табиғи процестердің даму заңдылықтарын анықтау және аймақтың геоэкологиялық жағдайын бағалау үшін ғылыми негіз қалыптастырады.

**Зерттеудің негізгі ғылыми мәселесі** – Теректі ауданы аумағының жер бедерін сандық биіктік моделі негізінде талдау және GIS технологиялары арқылы физикалық-географиялық ерекшеліктерін картографиялық тұрғыдан анықтау болып табылады. Осы мәселені шешу барысында аумақтың геоморфологиялық құрылымы, абсолюттік биіктіктердің таралуы, жер бедерінің тілімдену дәрежесі және табиғи компоненттердің кеңістіктік дифференциациясы зерттелді.

Картографиялық модельдеу нәтижесінде Теректі ауданы аумағының жер бедерінің кеңістіктік құрылымы анықталып, аумақтың геоморфологиялық ерекшеліктеріне ғылыми баға берілді. GIS технологияларын пайдалану зерттеу аумағының табиғи жағдайларын кешенді түрде бағалауға және физикалық-географиялық компоненттердің өзара байланысын жоғары дәлдікпен талдауға мүмкіндік берді.

#### **1-қадам. Бастапқы деректерді жинау.**

Физикалық картаны құрастыру үшін ең алдымен қажетті бастапқы кеңістіктік деректер жинақталды. Картаны жасау барысында растрлық және векторлық геодеректер пайдаланылды. Негізгі деректер жиынтығына әкімшілік шекара, жер бедерінің цифрлық биіктік моделі, гидрография, көлік желісі және елді мекендер қабаттары енгізілді. Физикалық карта жасауда ең маңызды дерек – сандық биіктік моделі (Digital Elevation Model, DEM) болып табылады. DEM – жер бетінің абсолюттік биіктіктерін көрсететін растрлық дерек. DEM негізінде келесі картографиялық қабаттар жасалынды:

- Биіктік картасы
- Гипсометриялық бояу (биіктік бойынша бояу)
- Hillshade (жер бедерінің көлеңкесі)
- Беткей экспозициясы

DEM деректері көбінесе ашық ғарыштық түсірілімдер негізінде жасалады. Бұл жұмыста DEM деректерін SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) деректер қорынан алуға болады. SRTM деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығы 30 м немесе 90 м болады және жер бедерін зерттеу үшін кеңінен қолданылады.

#### **2-қадам. DEM файлды ArcGIS бағдарламасына қосу.**

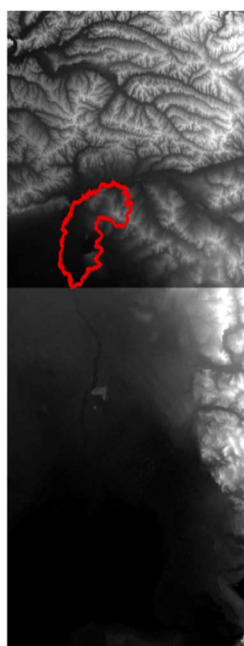
Бастапқы деректерді жинағаннан кейін келесі кезеңде сандық биіктік моделі (DEM) GIS бағдарламасына жүктеледі. DEM растрлық дерек болғандықтан, ол Raster Layer ретінде қосылады (1-сурет). Бұл кезеңде зерттеу аумағының жер бедерінің бастапқы биіктік картасы алынады. ArcGIS бағдарламасында DEM файлын қосу келесі ретпен орындалады:

ArcGIS ашу → Add Data → DEM файлын таңдау (.tif) → Add → DEM картаға қосылады

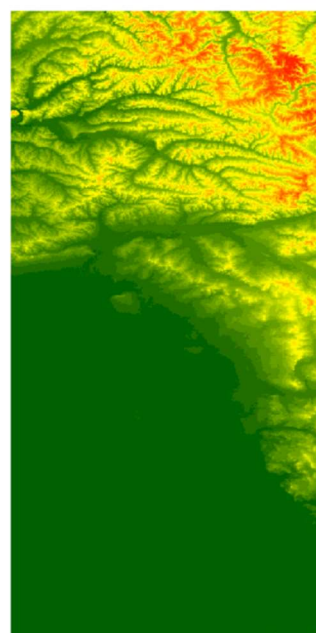
Сандық биіктік моделін ArcGIS бағдарламасына жүктегеннен кейін растр қабатының қасиеттері тексерілді. Layer Properties → Source бөлімінде растрдың кеңістіктік және статистикалық сипаттамалары анықталды (кесте-1).

**Кесте-1. DEM растр параметрлері**

| Көрсеткіш          | Мәні                    |
|--------------------|-------------------------|
| Raster format      | File Geodatabase Raster |
| Cell size          | 0.000833333°            |
| Pixel type         | Signed Integer          |
| Bit depth          | 16 Bit                  |
| Coordinate system  | GCS WGS 1984            |
| Datum              | WGS 1984                |
| Minimum elevation  | 0 м                     |
| Maximum elevation  | 429 м                   |
| Mean elevation     | 138.81 м                |
| Standard deviation | 78.92                   |
| Columns            | 6000                    |
| Rows               | 6000                    |



**1-сурет. SRTM деректері негізінде алынған нәтижесі**



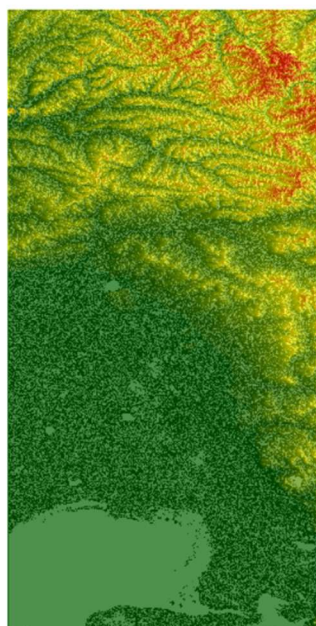
**2-сурет. DEM негізінде жасалған гипсометриялық карта**

DEM растр негізінде гипсометриялық карта жасалды. Биіктік мәндеріне сәйкес растр қабаты түрлі түстермен боялды (2-сурет). Төмен биіктіктер жасыл түспен, орташа биіктіктер сары түспен, ал жоғары биіктіктер қызғылт және қызыл түстермен көрсетілді.

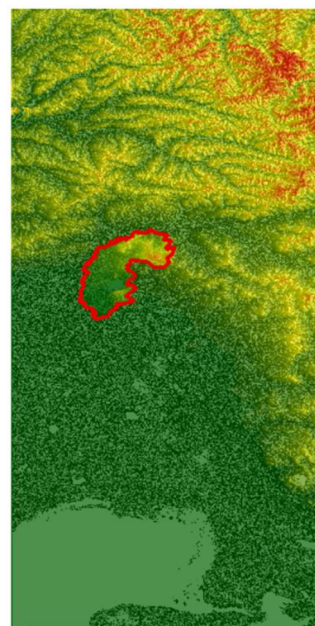
**3-қадам. Hillshade (жер бедерінің көлеңкесі).**

DEM растр негізінде жер бедерінің көлеңкелік моделі – Hillshade жасалады. Hillshade жер бедерінің рельефін айқын көрсету үшін қолданылады және физикалық карталар жасауда маңызды элемент болып табылады (3-сурет).





*3-сурет. Hillshade растр қабаты*



*4-сурет. Зерттеу аумағын аудан шекарасы бойынша кесу*

Hillshade жасау келесі ретпен орындалады:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Hillshade

Параметрлер:

- Input raster → DEM
- Azimuth → 315
- Altitude → 45
- Output raster → Hillshade

Hillshade растр қабаты жасалғаннан кейін ол гипсометриялық карта үстіне орналастырылады және мөлдірлігі (Transparency) 40–50% етіп орнатылады. Бұл жер бедерін көлемді және анық көрсетуге мүмкіндік береді.

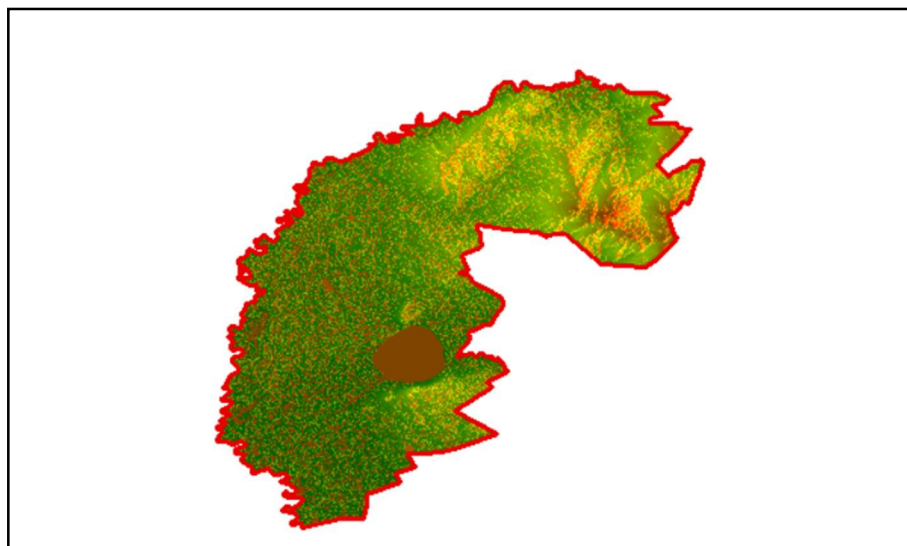
#### **4-қадам. Аудан шекарасы бойынша кесу (Clip)**

DEM және hillshade растрлары үлкен аумақты қамтитындықтан, оларды зерттеу аумағы Теректі ауданы шекарасы бойынша кесу қажет (4-сурет). Clip операциясы нәтижесінде растр тек зерттеу аумағы ішінде ғана қалады. ArcGIS бағдарламасында растрды кесу келесі ретпен орындалады:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask

Параметрлер:

- Input raster → DEM немесе Hillshade
- Feature mask data → Теректі ауданы shp
- Output raster → clipped raster



*5-сурет. Теректі ауданы шекарасы бойынша растрдың кесілген нәтижесі*

Осы операция нәтижесінде растр тек Теректі ауданы аумағында сақталады, ал сыртындағы бөліктер алынып тасталады (5-сурет).

#### **5-қадам. Карта компоновкасы (Layout)**

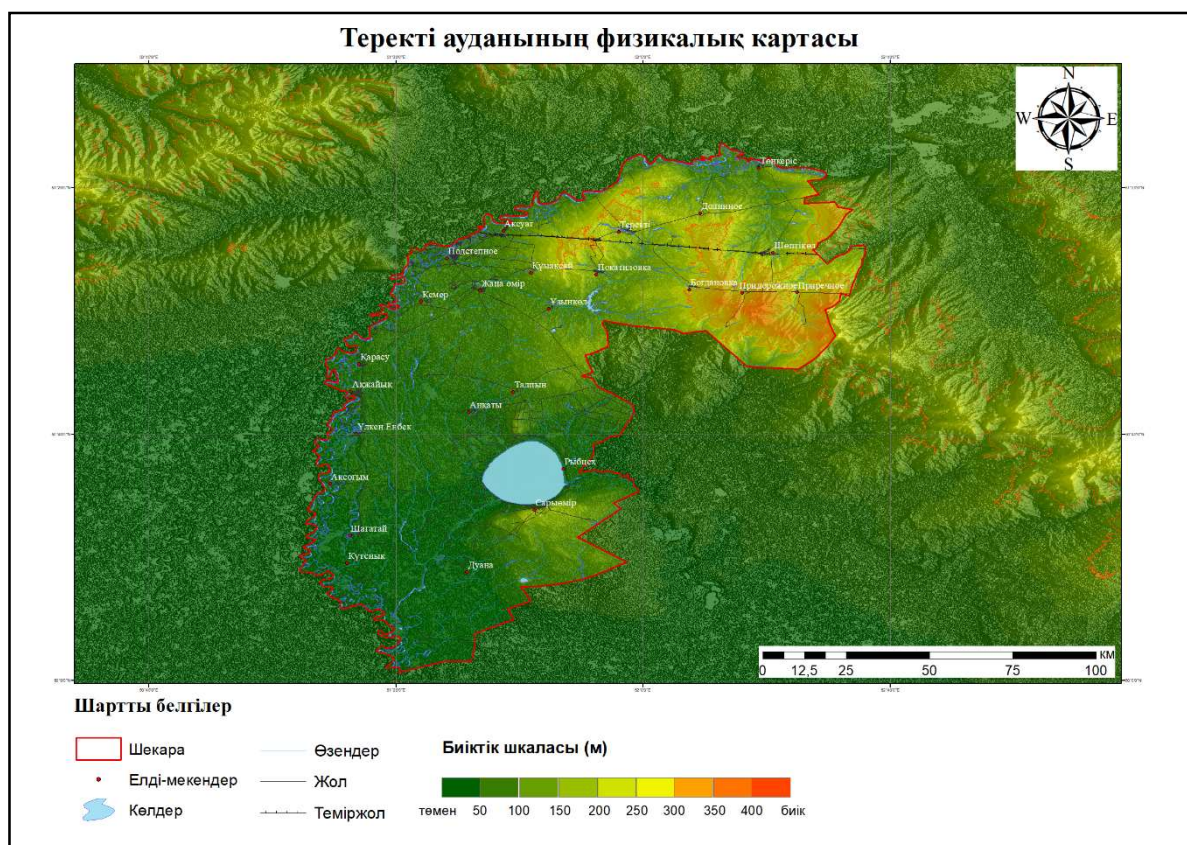
Картаны құрастырудың соңғы кезеңі – карта компоновкасын жасау болып табылады. Бұл кезеңде карта безендіріліп, картографиялық элементтер орналастырылады. Карта компоновкасы карта мазмұнын дұрыс және көрнекі түрде көрсету үшін қажет. ArcGIS бағдарламасында карта компоновкасын жасау келесі ретпен орындалады:

ArcGIS → Insert → New Layout

#### **Кесте-2. Карта компоновкасында міндетті түрде келесі элементтер**

| № | Карта элементі                  |
|---|---------------------------------|
| 1 | Карта атауы                     |
| 2 | Масштаб (Scale bar)             |
| 3 | Солтүстік стрелка (North arrow) |
| 4 | Легенда (Шартты белгілер)       |
| 5 | Биіктік шкаласы                 |
| 6 | Координат торы                  |
| 7 | Карта рамкасы                   |

Картаны құрастырудың соңғы кезеңінде карта компоновкасы жасалды. Компоновка барысында карта атауы, масштаб сызығы, солтүстік бағыты, шартты белгілер, биіктік шкаласы және координат торы карта бетіне орналастырылды (кесте-2). Карта элементтері картографиялық талаптарға сәйкес орналастырылып, нәтижесінде Теректі ауданының физикалық картасы дайындалды (6-сурет).



**6-сурет. Теректі ауданының физикалық картасы**

Теректі ауданының физикалық картасы сандық биіктік моделі (Digital Elevation Model) негізінде құрастырылған гипсометриялық картаға сүйене отырып дайындалды. Картографиялық материалдар негізінде зерттеу аумағының жер бедеріне морфометриялық және кеңістіктік талдау жүргізіліп, геоморфологиялық құрылымының негізгі ерекшеліктері анықталды. Биіктік шкаласының көрсеткіштері бойынша аудан аумағындағы абсолюттік биіктіктер шамамен 0–400 м аралығында өзгередіні анықталды. Сандық биіктік моделін пайдалану жер бедерінің биіктік дифференциациясын дәл анықтауға және аумақтың геоморфологиялық құрылымын кешенді бағалауға мүмкіндік берді.

Жүргізілген картографиялық талдау нәтижесінде Теректі ауданы аумағында жер бедерінің батыстан шығысқа қарай біртіндеп биіктеу заңдылығы анықталды. Ауданның батыс бөлігінде гипсометриялық картада жасыл түстердің басым болуы бұл аумақта абсолюттік биіктіктердің 0–100 м аралығында орналасқанын көрсетеді. Аталған аумақта төмен жазық жер бедері кең таралған және жер бетінің әлсіз тілімденуімен сипатталады. Сонымен қатар өзен аңғарлары мен уақытша су арналары жақсы дамыған. Гидрографиялық тордың жиілігі жер бедерінің төмен әрі салыстырмалы түрде тегіс болуына байланысты қалыптасқан. Мұндай геоморфологиялық жағдайлар ылғалдың жинақталуына және ауыл шаруашылығы мақсатындағы жерлердің қалыптасуына қолайлы әсер етеді.

Ауданның орталық бөлігінде гипсометриялық картада ашық жасыл және сары түстер басым таралған. Бұл бөліктегі абсолюттік биіктіктер негізінен 100–200 м аралығында өзгереді. Геоморфологиялық тұрғыдан бұл аумақта толқынды жазық жер бедері қалыптасқан. Жер бедері жыралармен, сайлармен және уақытша эрозиялық пішіндермен тілімденген. Беткейлік шайылу мен су эрозиясының белгілері байқалады, бұл экзогендік геоморфологиялық процестердің белсенділігін көрсетеді. Сонымен қатар елді мекендер мен көлік инфрақұрылымының басым бөлігі осы аумақта орналасқан, бұл жер бедерінің шаруашылық игеруге қолайлы екенін дәлелдейді.



Теректі ауданының шығыс және солтүстік-шығыс бөліктерінде гипсометриялық картада қызғылт және қызыл түстердің таралуы байқалады. Бұл аумақтар ауданның ең биік бөліктері болып табылады және мұндағы абсолюттік биіктіктер 200–300 м аралығында, кейбір учаскелерде 300–400 м-ге дейін жетеді. Аталған аймақтарда қыратты және ұсақ шоқылы жер бедері қалыптасқан. Беткейлердің тілімдену дәрежесінің жоғары болуы эрозиялық процестердің қарқынды дамуына әсер етеді. Сонымен қатар бұл аумақтарда жер бедерінің күрделілігі гидрографиялық желінің морфологиялық құрылымына және топырақ жамылғысының таралуына ықпал етеді.

Картографиялық талдау нәтижесінде ауданның оңтүстік бөлігінде көлдік нысандардың таралғаны және бұл аумақта жер бедерінің салыстырмалы түрде тегіс екені анықталды. Гидрографиялық тор негізінен ауданның батыс және орталық бөліктерінде жақсы дамыған, бұл жер бедерінің төмен жазық сипатымен және су ағынының табиғи бағытталу ерекшеліктерімен түсіндіріледі. Өзен аңғарлары мен су арналарының таралуы жер бедерінің морфологиялық құрылымымен тікелей байланысты екені анықталды.

Жалпы жүргізілген морфометриялық және картографиялық талдау нәтижесінде Теректі ауданының жер бедерін үш негізгі геоморфологиялық аймаққа бөлуге мүмкіндік туды:

1. Батыс бөлігі – абсолюттік биіктіктері 0–100 м аралығындағы төмен жазық аймақ;
2. Орталық бөлігі – 100–200 м аралығындағы толқынды жазық аймақ;
3. Шығыс және солтүстік-шығыс бөлігі – 200–400 м аралығындағы қыратты және тілімденген аймақ.

Осылайша, жер бедерінің батыстан шығысқа қарай біртіндеп биіктеуі Теректі ауданы аумағының негізгі геоморфологиялық ерекшелігі болып табылады. Аумақтың мұндай морфологиялық құрылымы гидрографиялық тордың қалыптасуына, эрозиялық процестердің қарқындылығына, табиғи ландшафттардың таралуына және шаруашылық игерілу деңгейіне тікелей әсер етеді.

**Қорытынды.** Зерттеу жұмысы барысында Батыс Қазақстан облысы Теректі ауданының физикалық-географиялық ерекшеліктеріне геоинформациялық жүйелер (GIS) негізінде кешенді талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде сандық биіктік моделі (DEM) және SRTM деректері қолданылып, аудан аумағының физикалық картасы жасалып, жер бедерінің морфометриялық құрылымы жан-жақты зерттелді.

ArcGIS бағдарламасының кеңістіктік талдау мүмкіндіктері арқылы гипсометриялық карта, жер бедерінің көлеңкелік моделі (hillshade) және физикалық карта құрастырылды. Жүргізілген картографиялық талдау Теректі ауданы аумағында жер бедерінің батыс бағыттан шығысқа қарай біртіндеп жоғарылайтынын көрсетті. Ауданның батыс бөлігінде абсолюттік биіктігі төмен жазық жерлер басым болса, орталық бөлігінде толқынды жазықтар кең таралған. Ал шығыс және солтүстік-шығыс аймақтарында биіктігі жоғары, тілімденген қыратты жер бедері қалыптасқаны анықталды.

Сонымен қатар зерттеу нәтижелері жер бедері мен гидрографиялық жүйенің өзара тығыз байланыста дамитынын дәлелдеді. Өзен аңғарлары мен су арналары көбінесе жер бедері тегіс және төмен аумақтарда орналасқан. Ал биіктігі жоғары қыратты бөліктерде беткейлердің тілімдену деңгейі жоғары болып, эрозиялық процестердің қарқынды байқалатыны анықталды. Бұл жағдай аумақтың табиғи ерекшеліктерін ауыл шаруашылығы саласында тиімді пайдалану қажеттігін көрсетеді.

Зерттеу қорытындылары Теректі ауданы аумағының табиғи жағдайлары ауыл шаруашылығын дамыту үшін қолайлы екенін көрсетті. Жазық және толқынды жазық жер бедерінің басым болуы егіншілік пен мал шаруашылығын дамытуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге GIS технологияларын қолдану зерттеу аумағының кеңістіктік ерекшеліктерін жоғары дәлдікпен анықтауға және табиғи компоненттерді кешенді бағалауға мүмкіндік беретіні айқындалды.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері жер ресурстарын тиімді пайдалану, табиғи-ресурстық әлеуетті ғылыми тұрғыдан бағалау, агроландшафтық жоспарлау және аймақтық геожүйелерді зерттеу бағыттарында маңызды ғылыми-тәжірибелік материал ретінде пайдаланылуы мүмкін.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Андрущенко О.Н. (1958). Естественно-исторические области Прикаспийской низменности (Волго-Уральское междуречье). – Труды географического факультета Белорусского университета: Минск. – С. 137–219. – <https://www.geokniga.org/books/25236>
2. Петренко А.З., Джубанов А.А., Фартушина М.М. (1998). Природно-ресурсный потенциал и проектируемые объекты заповедного фонда Западно-Казахстанской области. – Уральск: Западно-Казахстанский государственный университет. – 176 с. – <https://www.geokniga.org/books/25236>
3. Вилесов Е.Н., Науменко А.А., Веселова Л.К. (2009). Физическая география Казахстана. – Алматы: Казахский университет. – 362 с. – <https://www.geokniga.org/books/25236>
4. Лурье И.К. (2008). Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: Университетский книжный дом. – 424 с. – <https://www.geokniga.org/books/25236>
5. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (2015). Geographic Information Systems and Science. – Wiley. – 516 p.
6. Gustavsson M., Seijmonsbergen A.C., Kolstrup E. (2008). Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map. – Geomorphology. – №95. – Pp. 335–349. – <https://www.webofscience.com>
7. Bufalini M., Materazzi M., De Amicis M., Pambianchi G. (2021). From traditional to modern geomorphological mapping: a study case in the Chienti river basin. – Journal of Maps. – №17(3). – Pp. 17–28. – <https://www.webofscience.com>
8. Salikhov T.K., Salikhova T.S. (2019). The study of soil cover Aktau rural districts in West Kazakhstan region on the basis of GIS technologies. – Journal of Environmental Management and Tourism. – <https://journals.nnc.kz>
9. Salikhov T.K., Salikhova T.S., Khalel G.K. (2017). The Geoecological characteristics and recreational potential of the projected State Natural Reserve “Bokeyorda” West Kazakhstan region. – NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – No 3. – Pp. 216–227. – <http://www.geolog-technical.kz>
10. Tuleyeva D., Shaimerdenova A., Tesalovsky A., Leontyev V. (2024). GIS technology role in the management of arable lands in Kazakhstan. – SABRAO Journal of Breeding and Genetics. – 56(6). – Pp. 2441–2450. – <https://sabraojournal.org>
11. Zhou X.R., Xie X., Xue Y., Qin K., Dai W.J. (2020). Bag of Geomorphological Words: A framework for integrating terrain features from DEM. – ISPRS International Journal of Geo-Information. – №9(11). – 620. – <https://www.webofscience.com>

# БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ БӘЙТЕРЕК АУДАНЫНЫҢ ТУРИСТІК- РЕКРЕАЦИЯЛЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ

**Шүкірхан Әсем**

2 курс магистранты, 7М05213-География білім беру бағдарламасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Ғылыми жетекші:

**Салихов Талғат Құмарұлы**

Қазақстан Республикасы Ұлттық аграрлық ғылым академиясының корреспондент-мүшесі, а.ш.ғ.к., қауымдастырылған профессор

**Аннотация.** Мақалада Батыс Қазақстан облысы Бәйтерек ауданының туристік-рекреациялық әлеуетіне табиғи-географиялық жағдайларды талдау негізінде кешенді бағалау жүргізілді. Зерттеу геоақпараттық технологияларды, картографиялық талдау мен табиғи компоненттерді салыстырмалы бағалау әдістерін пайдалану арқылы орындалды. Аумақтың рекреациялық тартымдылығын қалыптастыратын негізгі факторлар ретінде ауданның геоморфологиялық ерекшеліктері, гипсометриялық құрылымы, топырақ жамылғысы мен өсімдік жамылғысы қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде Бәйтерек ауданының жазық рельефі, көліктік қолжетімділігі және дала табиғи кешендерінің басымдығы экологиялық, ауылдық және танымдық туризмді дамытуға қолайлы алғышарттар қалыптастыратыны анықталды. Сонымен қатар туристік саланың дамуын шектейтін факторлар ретінде инфрақұрылымның жеткіліксіз дамуы, су нысандары санының аздығы және климаттық жағдайлардың маусымдық сипаты айқындалды. Зерттеу нәтижелері өңірлік тұрақты туризм бағдарламаларын әзірлеу мен аумақтық жоспарлау жұмыстарында пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** туристік-рекреациялық әлеует, Бәйтерек ауданы, ГАЖ-технологиялар, картографиялық талдау, рекреациялық ресурстар, экотуризм, агротуризм, дала ландшафттары.

Қазіргі жағдайда ішкі туризмді дамыту Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық саясатының басым бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Осыған байланысты табиғи ландшафттық жағдайлары мен көліктік қолжетімділігі қолайлы аймақтардың табиғи-рекреациялық ресурстарын тиімді пайдалану ерекше маңызға ие болуда. Сондықтан экологиялық, ауылдық және танымдық туризмді дамытуға әлеуеті бар аумақтарды кешенді бағалау қажеттілігі артып келеді.

Ж.Н. Әлиева және басқа зерттеушілердің пікірінше, Қазақстанның дала аймақтары тұрақты туристік-рекреациялық жүйелерді қалыптастыру үшін елеулі әлеуетке ие, алайда көптеген өңірлердің рекреациялық мүмкіндіктері әлі де жеткілікті деңгейде зерттелмеген [2]. Әсіресе бұл мәселе Батыс Қазақстан облысы аудандары үшін өзекті, себебі табиғи ресурстар негізінен ауыл шаруашылығында пайдаланылып, туристік сала жеткілікті деңгейде дамымаған.

Батыс Қазақстан облысының Бәйтерек ауданы ғылыми тұрғыдан ерекше қызығушылық тудырады, себебі бұл аумақ жазық далалық ландшафттарды, өзен аңғарларын, ауыл шаруашылығы игерілген кеңістіктерді және қолайлы экономикалық-географиялық орынды біріктіреді. Аудан Орал қаласына жақын орналасқандықтан, демалыс



күнгі рекреацияны, экологиялық туризмді және ауылдық туристік маршруттарды дамытуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар ауданның инфрақұрылымдық даму деңгейі төмен болып қалып отыр, ал табиғи-рекреациялық ресурстары кешенді түрде жеткілікті бағаланбаған.

**Зерттеудің мақсаты** – табиғи-географиялық жағдайларды талдау негізінде Бәйтерек ауданының туристік-рекреациялық әлеуетін бағалау.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

- ауданның табиғи-географиялық ерекшеліктерін зерттеу;
- рельефті, гипсометриялық жағдайларды, топырақ және өсімдік жамылғысын талдау;
- туризмнің әртүрлі түрлерін дамытуға аумақтың жарамдылық деңгейін анықтау;
- туристік игеруді шектейтін факторларды айқындау;
- табиғи компоненттерге салыстырмалы талдау жүргізу.

**Зерттеу нысаны** – Батыс Қазақстан облысының Бәйтерек ауданы.

**Зерттеу пәні** – аумақтың туристік-рекреациялық әлеуеті және оның кеңістіктік дифференциациясының ерекшеліктері.

**Зерттеудің ғылыми жаңалығы** Бәйтерек ауданының табиғи компоненттерін картографиялық материалдар мен кеңістіктік талдау әдістері негізінде кешенді бағалаудан тұрады. Жұмыста Батыс Қазақстанның дала аймақтарында туризмді дамыту мүмкіндіктерін анықтайтын негізгі табиғи факторлар жүйелендірілді.

**Зерттеудің әдіснамалық негізін** географиялық, картографиялық, салыстырмалы және аналитикалық зерттеу әдістері құрайды. Негізгі назар геоақпараттық технологиялар мен тақырыптық карталарды табиғи-рекреациялық жағдайларды бағалаудың басты құралы ретінде пайдалануға аударылды.

Зерттеу барысында Бәйтерек ауданының геоморфологиялық, гипсометриялық, топырақ және геоботаникалық карталары қолданылды. Картографиялық талдау табиғи компоненттердің кеңістіктік таралу заңдылықтарын анықтауға және олардың туристік-рекреациялық игерілуге әсер ету деңгейін бағалауға мүмкіндік берді.

М.В. Гудковских [8] және Д.Г. Мамраева [5] ұсынған әдістемелік тәсілдерге сәйкес туристік-рекреациялық әлеуетті бағалау табиғи факторларды интегралды талдау негізінде жүргізілді. Бағалаудың негізгі критерийлері ретінде рельеф, климаттық ерекшеліктер, топырақ жамылғысы, өсімдік жамылғысы, су ресурстары және аумақтың көліктік қолжетімділігі қарастырылды.

Салыстырмалы әдіс ауданның туризмнің әртүрлі түрлерін дамытудағы артықшылықтары мен шектеулерін анықтауға мүмкіндік берді. Табиғи компоненттерді талдау олардың рекреациялық тартымдылығы, шаруашылық игерілу деңгейі және экологиялық тұрақтылығы ескеріле отырып жүргізілді.

Бәйтерек ауданы Батыс Қазақстан облысының солтүстік бөлігінде орналасқан және Қазақстанның солтүстік-батысындағы дала аймағына жатады. Ауданның әкімшілік орталығы – Переметное ауылы. Аумақ жазық рельефімен, ауыл шаруашылығының жоғары деңгейде игерілуімен және дала табиғи кешендерінің басымдығымен сипатталады.

Аудан климаты күрт континенттік. Қысы суық әрі қар аз, жазы ыстық және құрғақ келеді. Жылдық жауын-шашын мөлшері шамамен 300 мм құрайды, бұл аумақтың ылғалдануы жеткіліксіз екенін көрсетеді. Aliyeva Zh.N. және Kyrykbaу A.B. зерттеулеріне сәйкес, Қазақстанның дала аймақтарының климаттық жағдайлары маусымдық туризм үшін қолайлы болғанымен, аумақтың құрғақтығы жыл бойғы рекреациялық қызметтің дамуын шектейді [3].

Ауданның табиғи-географиялық жағдайлары негізінен рельеф пен геоморфологиялық құрылым ерекшеліктерімен анықталады.

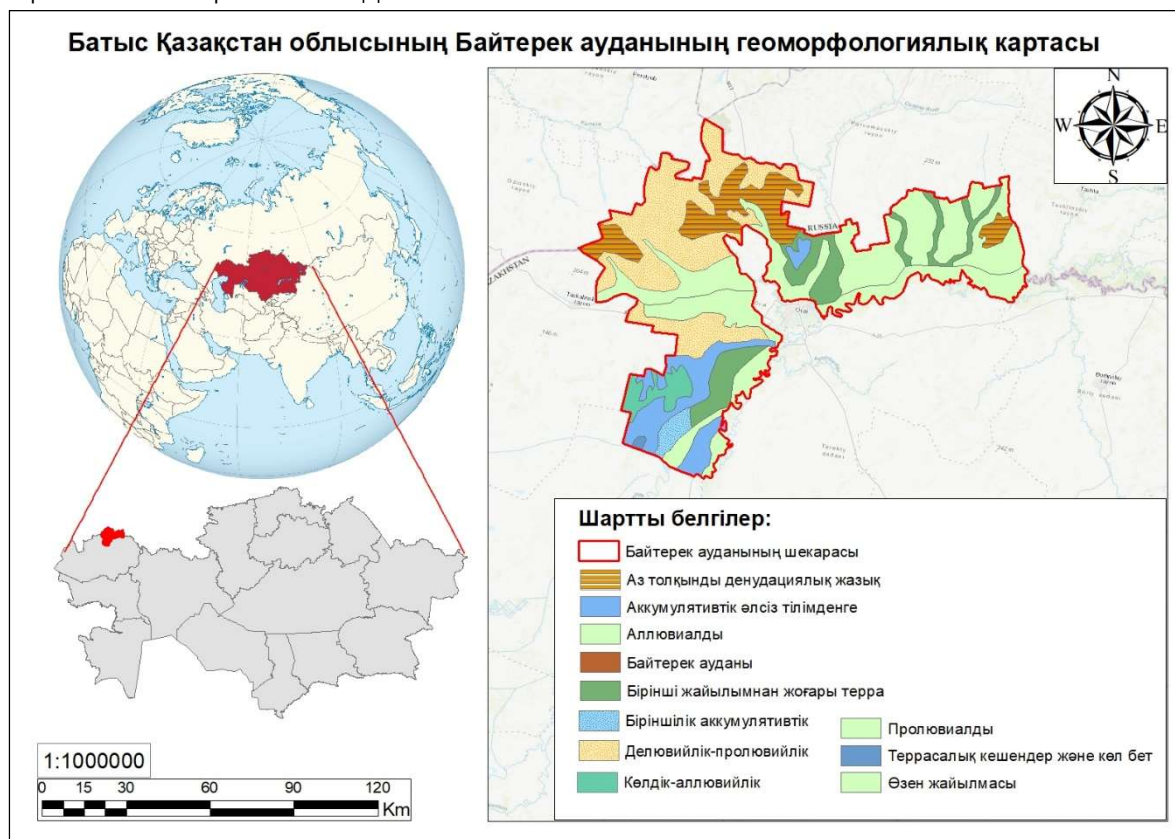
Бәйтерек ауданының геоморфологиялық құрылымы ұзақ уақыт бойы жүрген аккумуляция және денудация процестерінің әсерінен қалыптасқан. Аудан аумағында көлдік-

аллювийлік жазықтар, аккумулятивтік беттер, қазіргі жайылмалар мен террасаланған өзен аңғарлары кең таралған.

Аумақ рельефі негізінен жазық, әлсіз толқынды, кей жерлерде жыра-сайлармен тілімденген. Абсолюттік биіктіктер теңіз деңгейінен 20–250 м аралығында ауытқиды. Н.С. Мироненко мен И.Т. Твердохлебовтың пікірінше, жазық аумақтар жоғары көліктік қолжетімділікке ие және жаппай рекреация мен ауылдық туризмді дамыту үшін қолайлы болып табылады [7].

Жазық беттердің басымдығы автомобиль туризмін, экологиялық маршруттарды және агротуризмді дамытуға оң әсер етеді. Сонымен қатар биіктік айырмашылықтарының аз болуы спорттық және экстремалды туризм түрлерін дамыту мүмкіндігін шектейді.

Рекреациялық игеру үшін өзен аңғарлары мен жайылма аумақтарының маңызы ерекше, себебі олар қолайлы микроклиматтық жағдайларымен және биоалуантүрліліктің жоғарылығымен ерекшеленеді.



1-сурет Байтерек ауданының геоморфологиялық картасы

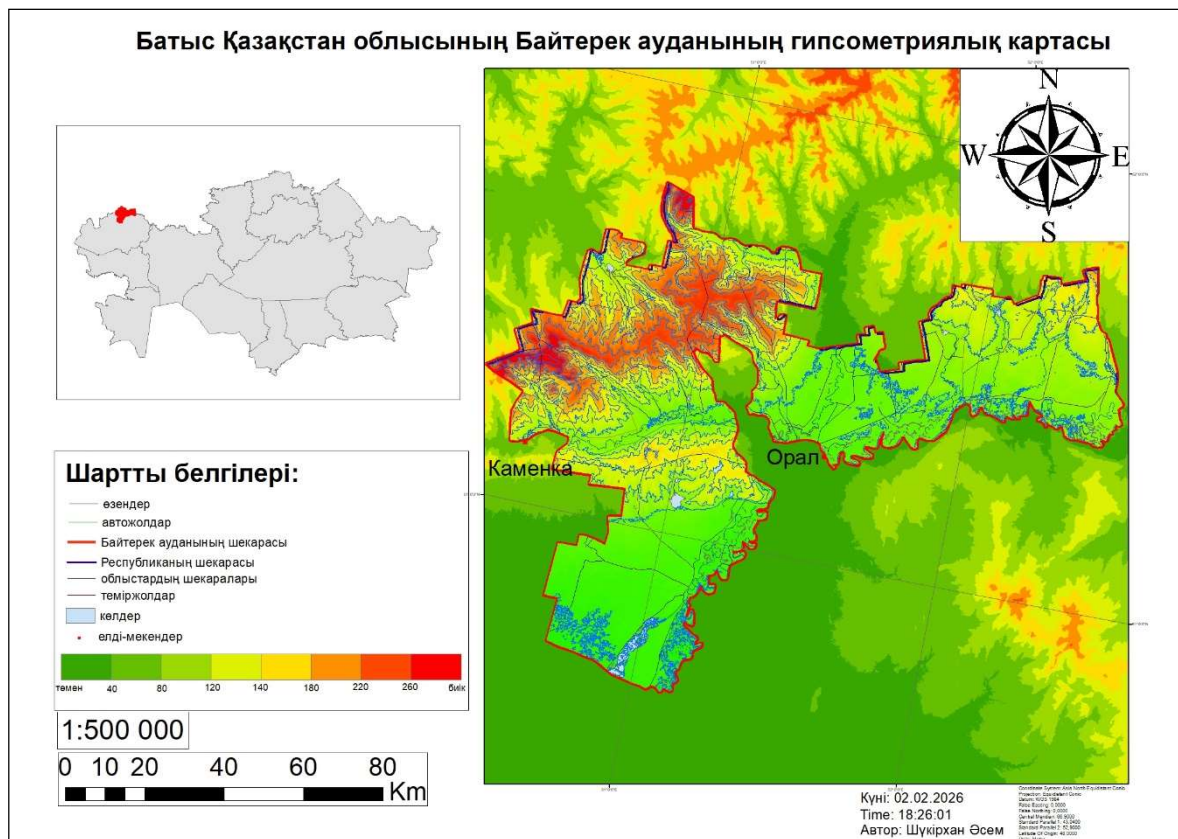
Жүргізілген геоморфологиялық талдау нәтижесінде рекреациялық тұрғыдан ең перспективалы аумақтар ретінде қазіргі жайылмалар мен жайылмаүсті террасалар анықталды. Аталған аумақтар ландшафттық айқындылығымен ерекшеленеді және табиғи-танымдық маршруттарды, қысқа мерзімді демалыс аймақтарын ұйымдастыру үшін қолайлы болып табылады.

Сонымен қатар кейбір аумақтардағы жыра-сайлық тілімдену эрозиялық процестердің дамуына байланысты шаруашылық және туристік игеруді шектейтін фактор ретінде көрінеді.

Аумақтың гипсометриялық құрылымы биіктіктердің кеңістіктік таралу ерекшеліктерін және рельефтің тік тілімдену дәрежесін сипаттайды.

Гипсометриялық картаны талдау нәтижесінде аудан аумағының басым бөлігі төмен және әлсіз толқынды жазықтар шегінде орналасқаны анықталды. Аумақтың негізгі биіктіктері теңіз деңгейінен 50–200 м аралығында ауытқиды.

Биіктік айырмашылықтарының шамалы болуы аумақтың көліктік қолжетімділігін арттырып, автомобиль, велосипед және ауылдық туризм түрлерінің дамуына қолайлы жағдай жасайды. М.В. Гудковскихтың пікірінше, рельефі әлсіз тілімденген аумақтар инфрақұрылымды игеруге кететін шығындардың төмен болуына байланысты экологиялық және танымдық маршруттарды ұйымдастыру үшін анағұрлым тиімді болып табылады [8].



2-сурет Байтерек ауданының гипсометриялық картасы

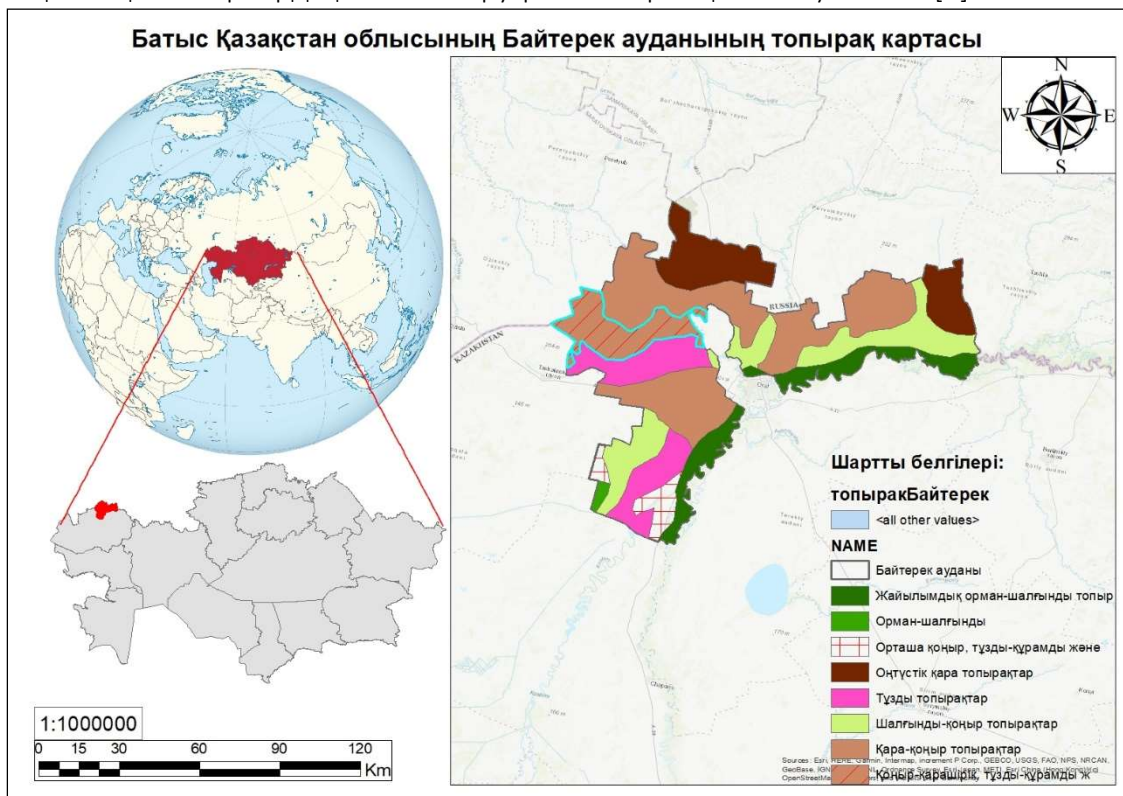
Сонымен қатар рельефтің тік дифференциациясының әлсіздігі ландшафттардың эстетикалық контрастылығын төмендетіп, белсенді және спорттық туризмге бағытталған туристік нысандарды дамыту мүмкіндігін шектейді.

1-кесте Байтерек ауданының табиғи-географиялық сипаттамасы

| Көрсеткіш         | Сипаттамасы                       |
|-------------------|-----------------------------------|
| Рельеф            | Жазық, жыра-сайлармен тілімденген |
| Биіктіктер        | 20–250 м                          |
| Климат            | Күрт континенттік                 |
| Жауын-шашын       | ~300 мм/жыл                       |
| Топырақ           | Қара топырақтар, қоңыр топырақтар |
| Өсімдік жамылғысы | Далалық                           |
| Су ресурстары     | Деркөл және Шаған өзендері        |

Байтерек ауданының топырақ жамылғысы айтарлықтай әртүрлілігімен ерекшеленеді. Аумақта шалғынды-қара топырақтар, кәдімгі қара топырақтар, оңтүстік қара топырақтар, күңгірт қоңыр және ашық қоңыр топырақтар кең таралған. Кейбір бөліктерінде сортаңдар мен құмды топырақтар кездеседі.

Қара топырақтардың басымдығы аумақтың ауыл шаруашылығына жоғары деңгейде игерілгенін көрсетеді. Omirzakova M. және басқа авторлардың зерттеулеріне сәйкес, Қазақстанның батыс өңірлеріндегі ауылдық аумақтар агротуристік кешендер мен ауылдық рекреациялық кластерлерді қалыптастыру үшін айтарлықтай әлеуетке ие [6].



3-сурет Байтерек ауданының топырақ картасы

Қара топырақтардың жоғары өнімділігі дәстүрлі жер пайдалану жүйелері мен аграрлық мамандандуды көрсетуге негізделген ауылдық туризмді дамытуға қолайлы. Ал сортаңдар мен құмды алқаптардың болуы кейбір аумақтарды қарқынды шаруашылық игеруді шектейді. Алайда мұндай табиғи кешендер ғылыми-танымдық тұрғыдан белгілі бір қызығушылық туғызып, экологиялық туризм бағытында пайдаланылуы мүмкін.





4-сурет Бәйтерек ауданының өсімдік жамылғысы картасы

Ауданның өсімдік жамылғысы негізінен далалық қауымдастықтардан тұрады. Ең кең таралған түрлері – ақжусанды-бетегелі, боз-бетегелі-ақжусанды және жусанды-алуаншөпті дала қауымдастықтары.

Құмды алқаптарда рекреациялық тартымдылығы жоғары жергілікті қарағайлы және жапырақты орман учаскелері кездеседі.

Ж.Н. Әлиева және басқа зерттеушілердің пікірінше, Қазақстанның дала экожүйелері экологиялық және этнографиялық туризмді дамыту үшін айтарлықтай әлеуетке ие [2]. Дала ландшафтарының кеңістіктік ашықтығы, өсімдік жамылғысының маусымдық өзгергіштігі және табиғи кешендердің сақталуы табиғи-танымдық маршруттарды ұйымдастыруға қолайлы жағдай жасайды.

Сонымен қатар аумақтың ормандылығының төмен деңгейі ұзақ мерзімді демалыс пен орман туризмін дамыту мүмкіндігін шектейді.

Табиғи-географиялық жағдайларды кешенді талдау нәтижесінде Бәйтерек ауданының туристік-рекреациялық әлеуеті орташа деңгейде екендігі анықталды. Аумақтың негізгі артықшылықтарына жазық рельеф, көліктік қолжетімділік, дала табиғи кешендерінің басымдығы және ауылдық туризмді дамытуға қолайлы жағдайлар жатады.

Сонымен қатар туристік саланың дамуын инфрақұрылымдық қамтамасыз етілу деңгейінің төмендігі, рекреациялық су нысандары санының аздығы және климаттың айқын маусымдылығы тежейді.

2-кесте Туристік-рекреациялық әлеуетті бағалау

| Компонент         | Бағасы | Маңызы                  |
|-------------------|--------|-------------------------|
| Рельеф            | Орташа | Жаппай туризмге қолайлы |
| Климат            | Орташа | Маусымдылық айқын       |
| Топырақ           | Жоғары | Агротуризм әлеуеті      |
| Өсімдік жамылғысы | Орташа | Экотуризм мүмкіндігі    |
| Су ресурстары     | Төмен  | Су нысандары шектеулі   |

Табиғи факторларды салыстырмалы талдау нәтижесінде экологиялық туризм, агротуризм және демалыс күнгі рекреация аудан үшін ең перспективалы бағыттар екендігі анықталды.

*3-кесте Туристтік дамуға әсер ететін факторларды салыстыру*

| Фактор            | Оң әсері             | Шектеуші фактор           |
|-------------------|----------------------|---------------------------|
| Рельеф            | Жоғары қолжетімділік | Контрастылықтың төмендігі |
| Климат            | Жылы жаз маусымы     | Құрғақшылық               |
| Топырақ           | Агротуризмді дамыту  | Сортаңдану                |
| Өсімдік жамылғысы | Экотуризм мүмкіндігі | Ормандылықтың төмендігі   |
| Су ресурстары     | Өзендердің болуы     | Көлдердің аздығы          |

Бәйтерек ауданын туристік игерудің негізгі мәселелері ретінде туристік инфрақұрылымның әлсіз дамуы, орналастыру нысандары санының жеткіліксіздігі және туристік саладағы инвестициялық белсенділіктің төмендігі қарастырылады.

Салихов Т.Қ. және Берденов Ж.Г. пікірінше, Батыс Қазақстан облысы аумақтарына табиғи-рекреациялық әлеуеттің жоғары болуы тән болғанымен, оның практикалық тұрғыдан игерілу деңгейі төмен күйінде қалып отыр [4].

Ауданның даму перспективалары ең алдымен экологиялық және ауылдық туризм бағыттарымен байланысты. Табиғи-танымдық маршруттарды ұйымдастыру, агротуристік кешендерді дамыту және жергілікті рекреациялық аймақтарды қалыптастыру ерекше маңызға ие. Сонымен қатар ауданның Орал қаласына жақын орналасуы қысқа мерзімді туристік маршруттарды қалыптастыруға қолайлы жағдай жасайды.

### **Қорытынды.**

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Бәйтерек ауданының айтарлықтай туристік-рекреациялық әлеуетке ие екендігі, алайда оның қазіргі уақытта толық деңгейде пайдаланылмай отырғаны анықталды. Нәтижесінде сандық биіктік моделі (DEM) және SRTM деректері қолданылып, аудан аумағының физикалық картасы жасалып, жер бедерінің морфометриялық құрылымы жан-жақты зерттелді.

ArcGIS бағдарламасының кеңістіктік талдау мүмкіндіктері арқылы гипсометриялық карта, жер бедерінің көлеңкелік моделі (hillshade) және физикалық карта құрастырылды.

Геоморфологиялық, гипсометриялық, топырақ және геоботаникалық ерекшеліктерді кешенді талдау нәтижесінде аудан аумағында экологиялық, ауылдық және танымдық туризм түрлерін дамыту анағұрлым перспективалы бағыттар болып табылатыны белгіленді.

Аумақтың негізгі артықшылықтарына жазық рельеф, көліктік қолжетімділік, дала табиғи кешендерінің болуы және ауыл шаруашылығы бағытындағы игерілу деңгейінің жоғарылығы жатады. Негізгі шектеуші факторлар ретінде климаттың құрғақтығы, рекреациялық су нысандарының жеткіліксіздігі және инфрақұрылымдық қамтамасыз етілу деңгейінің төмендігі анықталды.

GIS технологияларын қолдану зерттеу аумағының кеңістіктік ерекшеліктерін жоғары дәлдікпен анықтауға және табиғи компоненттерді кешенді бағалауға мүмкіндік беретіні айқындалды.

Зерттеу нәтижелері Батыс Қазақстан облысының Бәйтерек ауданы аумағында туризмді тұрақты дамыту бағдарламаларын әзірлеуде, аумақтық жоспарлау жүйесінде және табиғи ресурстарды тиімді пайдалануда қолданылуы мүмкін.



### Пайдаланылган әдебиеттер тізімі

1. Александрова А.Ю. География туризма. – Москва: КНОРУС, 2008. – 592 с.
2. Алиева Ж.Н., Әділбек М.Ғ., Акбар И., Алиева Ж.Б. Оценка потенциала туристско-рекреационных ресурсов для развития экотуризма: на примере Южного Казахстана // Journal of Geography and Environmental Management. – 2023. – Т. 71. – №4. – DOI: 10.26577/JGEM.2023.v71.i4.010
3. [Journal of Geography and Environmental Management](#)
4. Aliyeva Zh.N., Kyrykbay A.B. Assessment of tourism climatic index for rural tourism development in Southern Kazakhstan // Journal of Geography and Environmental Management. – 2021. – Т. 60. – №1. – С. 28–38. – DOI: 10.26577/JGEM.2021.v60.i1.03
5. [bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/779](#)
6. Салихов Т.К., Берденов Ж.Г. Перспективные направления развития туризма в проектируемом государственном природном резервате «Бокейорда» Западно-Казахстанской области // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2016. – №2(43). – С. 280–285.
7. [Journal of Geography and Environmental Management](#)
8. Мамраева Д.Г., Ташенова Л.В. Methodological Tools for Assessing the Region's Tourist and Recreation Potential // Economy of Regions. – 2020. – Vol.16(1). – P.127–140. – DOI: 10.17059/2020-1-10
9. [economyofregions.org/ojs/article/view/389](#)
10. Omirzakova M., Sergeyeva A., Ramazanova N., Saparov K. River basin recreational potential for rural tourism development in Aktobe region // Central Asian Journal of Water Research. – 2024. – Vol.10(1). – P.21–39. – DOI: 10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/21-39.rus
11. [Рекреационный потенциал речных бассейнов для развития сельского туризма в Актюбинской области — CAJWR](#)
12. Мироненко Н.С., Твердохлебов И.Т. Рекреационная география. – Москва: Издательство Московского университета, 1981. – 207 с.
13. Гудковских М.В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала // Географический вестник. – 2017. – №1(40). – С.102–116.
14. [journals.psu.ru](#)



Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «World Scientific Reports» (May 14-15, 2026). Paris, France, 2026. 600p

[editor@publisher.agency](mailto:editor@publisher.agency)

<https://publisher.agency>

Paris University

88 Avenue des Ternes

Paris, France

75017