

March, 2026

Volume 3, Issue 1



№ 009

# Management and Future Technologies

SCIENTIFIC JOURNAL

[journal.umft.uz](http://journal.umft.uz)

ISSN 3060-5008

**Jurnal sohalari:** dasturiy injiniring, sun'iy intellekt texnologiyalari, kompyuter injiniringi, infokommunikatsiya injiniringi, axborot xavfsizligi, matematika va fizika

#### **Tahririyat kengashi raisi**

g.f.d., prof. Muxammadismoil Maxmudov "University of Management and Future Technologies" universiteti rektori

#### **Bosh muharrir**

i.f.d., prof. Karimjon Axmedjanov "University of Management and Future Technologies" universiteti Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektor

#### **Tahririyat kengashi a'zolari**

f.f.d., prof. Asror Muhamedov  
t.f.d., prof. O'tkir Xamdamov  
t.f.d., prof. Muxammadjon Musayev  
t.f.d., prof. Shavkat Fozilov  
f-m.f.d., prof. Aripov Mersaid  
f-m.f.d., prof. Alov Raxmatillo  
t.f.d., prof. Marat Raxmatullayev  
t.f.d., prof. Dilnoz Muxamediyeva  
t.f.d., prof. Jamshid Sultonov  
f-m.f.d., prof. Dildora Muhamediyeva  
t.f.d., prof. Nargiza Usmanova  
t.f.d., dot. Halimjon Xujamatov  
t.f.d., dot. Ibragim Atadjanov  
t.f.f.d., Muhridin Muxiddinov  
t.f.f.d., dot. Maxina Mansurova  
t.f.f.d., dot. Baxtiyor Akmuradov  
t.f.f.d., dot. Anvar Musayev  
t.f.f.d., dot. Muhridin Umarov  
f-m.f.n., dot. Baxromjon Abduraxmonov  
t.f.f.d., dot. Abdulxayev Nodirbek

#### **Muharrirlar**

Shukurullo Kaxarov (O'zbekiston)  
Ozod Yusupov (O'zbekiston)  
Dilshod Rahmatov (Germaniya)  
O.A. Hidayov (Germaniya)  
Akmaljon Abdullayev (O'zbekiston)  
Jinsoo Cho (J. Koreya)  
Jamshid Elov (O'zbekiston)  
Fazliddin Maxmudov (J. Koreya)  
Faheem Khan (J. Koreya)  
Doston Xasanov (O'zbekiston)  
Shahnoza Muksimova (J. Koreya)  
Elmurod Urinov (O'zbekiston)  
Akmalbek Abdusalomov (J. Koreya)  
Sherzod Abdullayev (O'zbekiston)  
Urmanov Odil (J. Koreya)  
Sobir Radjabov (O'zbekiston)  
Young Im Cho (J. Koreya)  
Mohamed Sameer (J. Koreya)  
Alpamis Kutlimuratov (O'zbekiston)  
Sabina Umirzakova (J. Koreya)  
Farhod Ahmedov (J. Koreya)  
Sherzod Mustafaqulov (O'zbekiston)  
Shabir Ahmad (J. Koreya)  
U.B. Amirsaidov (O'zbekiston)  
Lilia Tightiz (J. Koreya)  
Shahnoza Sultanova (O'zbekiston)  
Safiullah Khan (Buyuk Britaniya)  
Seytkamal Medetov (Fransiya)  
Avaz Qaxxorov (O'zbekiston)  
Qosim Bekmurodov (O'zbekiston)  
Namoz Mirzayev (O'zbekiston)

#### **Dizayner**

Abduraximov Dilshod

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligidan 212842-raqamli guvohnoma bilan 26.01.2024 sanasida ro'yxatdan o'tkazilgan.

## TEXNIKA FANLARI

<b>XALQARO SIFAT STANDARTLARI VA SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARINING NAZARIY-METODOLOGIK ASOSLARI</b> Axmedov B. M., Durdiyev O. O.	<b>6</b>
<b>VEB-ILOVALARDAGI FOYDALANUVCHI XATTI-HARAKATLARINI ANIQLASHNI INTELLEKTUAL TAHLIL QILISH ALGORITMLARI VA KIBERXAVFSIZLIKDAGI AHAMIYATI</b> Alimova F. M., Xayrillayev A. Z.	<b>13</b>
<b>LI-FI TEXNOLOGIYASINI TELEKOMMUNIKATSIYA SOHASIDA QO'LLANILISHINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARINI TAHLIL QILISH</b> Abdulxayev N.	<b>20</b>
<b>KIBERXAVFSIZLIK FANINI O'QITISH TENDENTSIYALARI VA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARI</b> Musaev A. I.	<b>26</b>
<b>DIELEKTRIK SARALASH JARAYONINING ENERGETIK PARAMETRLARINI EKSPERIMENTAL ASOSLASH</b> Mannobboyev Sh.	<b>31</b>
<b>VIRTUAL PLATFORMALARDA MAHALLIY MAHSULOTLAR TAQSIMOTINI TASHKIL ETISH ALGORITMI</b> Mansurova M. Y., Jumaboev B. F.	<b>43</b>
<b>FRAKTAL XUSUSIYATLI RELYEFNING EROZIYA PARCHALANISHI JARAYONINING FRAKTAL O'LCHOVINI ANIQLASH USULLARI YORDAMIDA YERNING YEMIRILISH XUSUSIYATINI TADQIQ QILISH.</b> Saidkulov E. A., Akbarov H. O.	<b>53</b>
<b>ONLAYN MASOFAVIY TA'LIM TIZIMIDA BILIMLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISH ALGORITMLARI</b> Yakubov M. S., Bekmuxammedov B. N.	<b>63</b>
<b>DPI TEXNOLOGIYASI MISOLIDA TARMOQ XAVFSIZLIGI ALGORITMLARINI TADQIQ QILISH</b> Ismoilov A. P., Akmuradov B. U.	<b>73</b>
<b>INFOKOMMUNIKATSIYA TIZIMLARIDA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING IOTGA ASOSLANGAN TEXNOLOGIK YONDASHUVLARI</b> Shodiyev Sh. H., Abdumalikov A. A., Rizayev F. F.	<b>88</b>

**IP KAMERA TASVIRLARI ORQALI INSONNING XATTI-HARAKATINI BAHOLASH  
USULLARINI TAHLIL QILISH**

Elov J., Abdug'afarova N.O.

---

**105**

**DIAGNOSTIC TOOLS FOR ANALYZING DENTAL DISEASES IN PATIENTS**

Ismailov O.M., Mirzaxalilov S.S., Temirova X.F.

---

**116**

**RAQAMLI KORXONA FAOLIYATINI TASHKIL QILISHNING KONSEPTUAL  
ASOSLARI**

Begalov B., Abduaxadov M., Abdusalomov A.

---

**127**

**TALABALAR FAOLLIGINI BAHOLASHDA SARALASH ALGORITMLARI ASOSIDA  
ISHLASH SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH**

Ulashev A. N.

---

**136**



## XALQARO SIFAT STANDARTLARI VA SUN'YI INTELLEKT TEXNOLOGIYALARINING NAZARIY-METODOLOGIK ASOSLARI

Axmedov Barat Maxmudovich<sup>1</sup>, Durdiyev Oxunjon Orifjon o'g'li<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Kadastr agentligi Davlat kadastrlari palatasi

<sup>2</sup> O'zbekiston Standartlar instituti;

\* e-mail: Oxunjon.durdiyev@mail.ru

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada xalqaro sifat standartlari (ISO) va sun'iy intellekt (AI) texnologiyalarining integratsiyasi sifat boshqaruvining zamonaviy nazariy-metodologik modeli sifatida tahlil qilinadi. Tadqiqotda ISO 9001, ISO 50001 va ISO 56002 standartlarining institutsional mohiyati, ularning sun'iy intellekt algoritmlari bilan uyg'unlashuvi hamda sifatni real vaqt rejimida monitoring va prognozlash imkoniyatlari yoritiladi. Tahlil natijalariga ko'ra, ISO–AI integratsiyasi sifat boshqaruvini statik nazoratdan proaktiv va intellektual boshqaruv tizimiga aylantiradi. Maqola natijalari sifat, innovatsiya va raqobatbardoshlikni ta'minlashda ISO–AI modelining ilmiy va amaliy ahamiyatini asoslab beradi.

**Kalit so'zlar:** ISO 9001; ISO 50001; sun'iy intellekt; sifat menejmenti; raqamli standartlashtirish.

**Аннотация:** В данной статье анализируется интеграция международных стандартов качества (ISO) и технологий искусственного интеллекта (AI) как современная теоретико-методологическая модель управления качеством. В исследовании раскрывается институциональная сущность стандартов ISO 9001, ISO 50001 и ISO 56002, их взаимосвязь с алгоритмами искусственного интеллекта, а также возможности мониторинга и прогнозирования качества в режиме реального времени. По результатам анализа установлено, что интеграция ISO–AI трансформирует управление качеством из статического контроля в проактивную и интеллектуальную систему управления. Результаты статьи обосновывают научную и практическую значимость модели ISO–AI для обеспечения качества, инновационности и конкурентоспособности.

**Ключевые слова:** ISO 9001; ISO 50001; искусственный интеллект; менеджмент качества; цифровая стандартизация.

**Abstract:** This article analyzes the integration of international quality standards (ISO) and artificial intelligence (AI) technologies as a modern theoretical and methodological model of quality management. The study examines the institutional essence of ISO 9001, ISO 50001, and ISO 56002 standards, their integration with artificial intelligence algorithms, as well as the possibilities for real-time monitoring and forecasting of quality. The results show that ISO–AI integration transforms quality management from static control into a proactive and intelligent management system. The findings substantiate the scientific and practical significance of the ISO–AI model in ensuring quality, innovation, and competitiveness.

**Keywords:** ISO 9001; ISO 50001; artificial intelligence; quality management; digital standardization.

### 1. Kirish

XXI asrda global iqtisodiyotning raqamlashuvi, texnologik transformatsiya va intellektuallashuv jarayonlari ishlab chiqarish va xizmatlar sohasida sifatni boshqarishga bo'lgan yondashuvlarni tubdan o'zgartirdi. Agar XX asr oxirigacha sifat boshqaruvini asosan normativ reglamentlar, statistik nazorat va auditga tayanilgan bo'lsa, hozirgi bosqichda u sun'iy intellekt



(AI) texnologiyalari orqali real vaqtda tahlil, prognoz va optimallashtirishga o‘tib bormoqda [1, 7].

ISO 9001, ISO 50001 va ISO 56002 kabi xalqaro standartlar korxonalar faoliyatini tizimli boshqarish, risklarni kamaytirish va uzluksiz yaxshilashni institusional jihatdan ta’minlab beradi [1–3]. Biroq standartlar o‘z-o‘zidan intellektual qaror qabul qilmaydi; ular faqat qoidalar va talablar tizimini belgilaydi. Shu nuqtada sun’iy intellekt texnologiyalari standartlashtirilgan jarayonlarni ma’lumotlarga asoslangan holda boshqarish imkonini beradi.

Metodologik nuqtai nazardan, ISO standartlari va AI o‘rtasidagi munosabat “normativ tizim – intellektual mexanizm” dualizmiga tayanadi. ISO tizimlari “nima qilinish kerak?” degan savolga javob bersa, AI “qachon, qanday va qaysi darajada” degan savollarga javob beradi. Bu uyg‘unlik zamonaviy sifat boshqaruvining yangi ilmiy paradigmasini shakllantirmoqda.

## 2. Tadqiqot maqsadi va vazifalari

Mazkur maqolaning maqsadi — xalqaro sifat standartlari va sun’iy intellekt texnologiyalarining o‘zaro bog‘liqligini nazariy-metodologik jihatdan tahlil qilish, ularning integratsiyasini formal modellar va tahliliy yondashuvlar orqali asoslash hamda boshqaruv amaliyoti uchun konseptual asos ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot quyidagi ilmiy vazifalarni qamrab oladi:

- ISO standartlarining institusional va epistemologik mohiyatini ochib berish;
- sun’iy intellekt texnologiyalarining sifat boshqaruvidagi rolini tahlil qilish;
- ISO–AI integratsiyasining formal modelini ishlab chiqish;
- integratsiyaning innovasion, iqtisodiy va strategik samaradorligini baholash.

## 3. Asosiy qism

ISO standartlari zamonaviy sifat boshqaruvi nazariyasining institusional tayanchini tashkil etadi. ISO 9001 standartlari Deming, Juran va Crosby maktablariga tayanilgan holda “jarayonga yo‘naltirilgan boshqaruv”, “uzluksiz yaxshilash” va “mijoz qiymati” konsepsiyalarini umumlashtiradi [4–6]. Bu standartlar sifatni faqat natija emas, balki tizimli jarayon sifatida talqin qiladi.

ISO 9001 da sifat quyidagi metodologik zanjir orqali ta’riflanadi:

**talab → jarayon → resurs → natija → qanoatlanish.**

Bu zanjir sifatni statik ko‘rsatkich emas, balki dinamik tizim sifatida ko‘rishga imkon beradi.

ISO 50001 energiya boshqaruvida ham xuddi shu metodologik tamoyilga asoslanib, energiya iste’molini ma’lumotlar orqali tahlil qilish va uzluksiz optimallashtirishni nazarda tutadi [2]. ISO 56002 esa yuqoridagi masalalarni innovatsiyani boshqariladigan tizim sifatida modellashtiradi [3]. Ushbu uch standart birgalikda sifat–samaradorlik–innovatsiya triadasini shakllantiradi.

Nazariy jihatdan, ISO standartlari institusional iqtisodiyot nuqtai nazaridan qoidalar va cheklovlar tizimi bo‘lib, ular subyektlarning xulq-atvorini barqarorlashtiradi. Biroq standartlar deterministik bo‘lib, muhitning o‘zgaruvchanligini hisobga olishda cheklangan. Shu yerda sun’iy intellekt tizimlari ehtimoliy, statistik va o‘rganuvchi mexanizm sifatida ISO standartlarining dinamik kengayishiga aylanadi [7, 8].

Bu munosabatni formallashtirish uchun ISO va AI integratsiyasining konseptual samaradorligi quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{Q \cdot I}{1 + R}$$

bu yerda:

$E$ — ISO–AI integratsiyasining umumiy samaradorligi;

$Q$ — ISO standartlari asosida ta'minlangan sifat darajasi;

$I$ — sun'iy intellekt algoritmlarining tahlil va prognoz qobiliyati;

$R$ — risk va noaniqlik indeksi.

Bu formula shu yerda keltirilgan, chunki u ISO standartlarining normativ barqarorligi va AI texnologiyalarining intellektual dinamikasini yagona metodologik ifodaga keltiradi. U sifat boshqaruvida standartlar va AI o'rtasidagi sinergetik ta'sirni formal ravishda asoslaydi.

ISO standartlari faqat reglament emas, balki ma'lumotlarga asoslangan boshqaruvga ochiq arxitekturadir. Shu sababli AI texnologiyalari ISO talablarini amaliy qarorlarga aylantiruvchi intellektual "dvigatel" vazifasini bajaradi.

Sun'iy intellekt texnologiyalari sifat boshqaruvida oddiy avtomatlashtirish vositasi emas, balki qaror qabul qilishning epistemologik modeli sifatida namoyon bo'ladi. Mashinali o'rganish, neyron tarmoqlar va intellektual agentlar ISO standartlari tomonidan belgilangan talablarni real vaqtda baholash, prognozlash va optimallashtirish imkonini beradi [7], [8].

Metodologik jihatdan AI quyidagi uch funksiyani bajaradi:

1. Epistemik funksiya – ma'lumotlardan bilim chiqarish;
2. Prognotik funksiya – kelgusi holatlarni ehtimoliy modellashtirish;
3. Normativ funksiya – standartlarga mos qarorlarni taklif qilish.

ISO standartlari jarayonlarni "qanday bo'lishi kerak" nuqtai nazaridan ta'riflaydi, AI esa "real holat qanday" va "eng yaxshi yechim qaysi" degan savollarga javob beradi. Shu bois, ISO–AI uyg'unligi sifat boshqaruvini reaktiv nazoratdan proaktiv boshqaruvga aylantiradi.

AI asosidagi sifat boshqaruv tizimi ISO talablarini statistik ma'lumotlar bilan boyitib, o'z-o'zini o'rganuvchi mexanizmga aylanadi. Bu yerda sifat ko'rsatkichlari doimiy qayta hisoblanadi, xatolar ehtimoli oldindan aniqlanadi va resurslar optimal taqsimlanadi. Shu orqali ISO standartlari "tirik" boshqaruv tizimiga aylanadi.

Bu munosabatni nazariy jihatdan umumlashtirish uchun integratsiya jarayoni quyidagi tushunchaga tayanadi:

**sifat = standartlashtirilgan qoidalar × intellektual tahlil.**

Bu yerda standartlar barqarorlikni, AI esa moslashuvchanlikni ta'minlaydi.

ISO–AI integratsiyasini faqat texnologik yechim sifatida emas, balki metodologik tizim sifatida ko'rish zarur. Bu tizimda standartlar institusional chegaralarni belgilaydi, AI esa shu chegaralar ichida eng optimal yechimlarni topadi.

Integratsiyaning metodologik modeli quyidagi bosqichlardan iborat:

1. ISO standartlari asosida jarayonlarni formallashtirish;
2. Ma'lumotlarni yig'ish va tozalash;
3. AI algoritmlari orqali tahlil va prognoz;
4. Natijalarni ISO talablari bilan taqqoslash;
5. Uzluksiz yaxshilash qarorlarini ishlab chiqish.

Bu jarayonni formallashtirish uchun innovasion samaradorlik quyidagicha ifodalanadi:

$$IP = \frac{E \cdot In}{1 + R}$$

bu yerda:

$IP$ — ISO–AI integratsiyasi orqali shakllangan innovasion potensial;

$E$ — oldingi formula orqali aniqlangan umumiy samaradorlik;

$In$ — innovasion faoliyat darajasi (texnologik va tashkiliy);

$R$ — noaniqlik va institusional qarshiliklar indeksi.

Bu formula ISO standartlarining barqarorligi bilan AI texnologiyalarining yangilik yaratish qobiliyati o'rtasidagi nisbatni aniqlash imkonini beradi. U innovatsiya ISO talablarini buzmasdan qanday rivojlanishini metodologik jihatdan asoslaydi.



ISO–AI integratsiyasining afzalligi shundaki, innovatsiya xaotik emas, balki standartlarga mos va nazorat qilinadigan jarayonga aylanadi. Bu esa innovasion rivojlanishning institusional barqarorligini ta'minlaydi [1, 3, 7].

ISO standartlari an'anaviy tarzda barqarorlik va takrorlanuvchanlikni ta'minlashga qaratilgan bo'lsa, sun'iy intellekt texnologiyalari noaniq muhitda yangi bilim va yechimlarni ishlab chiqish qobiliyati bilan farq qiladi. Ushbu ikki tizimni birlashtirish natijasida innovatsiya "tasodifiy ijod" emas, balki ma'lumotlarga asoslangan, standartlashtirilgan va boshqariladigan jarayonga aylanadi [3, 7].

Innovatsiyaning ISO–AI muhitida shakllanishi quyidagi mexanizm orqali amalga oshadi: ISO standartlari innovatsiya jarayoni uchun institusional chegaralarni belgilaydi, AI esa shu chegaralar ichida eng yuqori qiymatli yechimlarni topadi. Bu holatda innovatsiya riskli eksperiment emas, balki hisoblangan, prognozlangan va nazorat qilinadigan faoliyatga aylanadi.

ISO 56002 standarti innovatsiyani boshqaruv tizimi sifatida ta'riflab, uni strategiya, jarayonlar, resurslar va natijalar bilan bog'laydi [3]. AI texnologiyalari esa ushbu bog'liqliklarni real vaqtda tahlil qilib, qaysi innovasion yo'nalish eng yuqori iqtisodiy va sifat samarasini berishini ko'rsatib beradi.

Bu munosabatni konseptual jihatdan quyidagicha ifodalash mumkin: innovatsiya darajasi standartlashtirilgan jarayonlar bilan intellektual tahlilning ko'paymasi sifatida shakllanadi. Bunda ISO standartlari innovatsiyani tartibga solsa, AI uni tezlashtiradi va optimallashtiradi.

ISO standartlari va sun'iy intellekt integratsiyasi faqat texnik yoki tashkiliy yutuq emas, balki iqtisodiy va ijtimoiy natijalarni ham shakllantiradi. Iqtisodiy jihatdan bu integratsiya xarajatlarni qisqartirish, resurslardan samarali foydalanish va mahsulot sifatini barqaror oshirish orqali qiymat yaratadi [1, 2, 7].

ISO 50001 energiya boshqaruvida AI algoritmlari bilan birlashganda, energiya iste'molini prognozlash, yuklamalarni optimal taqsimlash va chiqindilarni kamaytirish imkonini beradi. Bu esa ishlab chiqarish xarajatlarini pasaytiradi va korxonaning bozordagi raqobatbardoshligini oshiradi.

Iqtisodiy samaradorlikni integratsiya kontekstida quyidagicha ifodalash mumkin:

$$EC = \frac{E \cdot C_s}{1 + R_c}$$

bu yerda:

$EC$  — ISO–AI integratsiyasining iqtisodiy samaradorligi;

$E$  — umumiy integratsiya samaradorligi;

$C_s$  — xarajatlarni tejash va resurs samaradorligi indeksi;

$R_c$  — iqtisodiy risk va bozor noaniqligi.

Bu formula shu yerda keltirildi, chunki u standartlashtirilgan sifat boshqaruvi va AI orqali optimallashtirilgan xarajatlar o'rtasidagi bog'liqlikni formal ravishda ko'rsatadi. U integratsiyaning iqtisodiy mantig'ini ilmiy asoslaydi.

Ijtimoiy jihatdan ISO–AI tizimi mehnat xavfsizligi, ish sharoiti va xodimlar malakasini oshirishga xizmat qiladi. AI orqali xavfli holatlar oldindan aniqlanadi, ISO standartlari esa mehnat muhofazasi va javobgarlikni institusional kafolatlaydi. Natijada korxonalar va jamiyat o'rtasida ishonch mustahkamlanadi.

Sifat, innovatsiya va raqobatbardoshlikni bir vaqtning o'zida ta'minlash zamonaviy korxonalar uchun strategik vazifaga aylandi. ISO standartlari bu vazifaga institusional asos yaratsa, sun'iy intellekt uni amalga oshirishning intellektual mexanizmini beradi. Shu sababli ISO–AI integratsiyasi strategik boshqaruvning yangi modelini shakllantiradi [1, 3, 7].

An'anaviy strategik boshqaruv ko'pincha davriy rejalashtirishga tayanadi. AI esa ISO talablariga tayangan holda strategiyani dinamik ravishda qayta hisoblash imkonini beradi. Bu,

ayniqsa, bozor konyunkturasi, energiya narxlari, resurs tanqisligi va sifat talablari tez o'zgarayotgan sharoitda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

ISO–AI asosidagi strategiya “reaksiya qilish” emas, balki “oldindan harakat qilish” tamoyiliga asoslanadi. ISO standartlari strategik maqsadlarni belgilasa, AI ularga erishish uchun eng maqbul trayektoriyalarni hisoblab chiqadi. Bu jarayonda risklarni hisobga olish markaziy o‘rin tutadi.

Strategik samaradorlikni formal ifoda qilish mumkin:

$$SS = \frac{E \cdot S}{1 + R_s}$$

bu yerda:

$SS$ — strategik samaradorlik;

$E$ — ISO–AI integratsiyasining umumiy samaradorligi;

$S$ — strategik resurslar va boshqaruv qobiliyati;

$R_s$ — strategik risklar (bozor, texnologiya, institusional).

Bu formula shu yerda kiritilgan, chunki u ISO standartlari bilan tartibga solingan resurslar va AI orqali hisoblangan strategiya o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash imkonini beradi. U strategiyani subyektiv qarorlardan ma’lumotlarga asoslangan boshqaruvga o‘tkazishni asoslaydi.

ISO standartlari institusional iqtisodiyot nuqtai nazaridan qoidalar, me’yorlar va mas’uliyatlar tizimini tashkil etadi. AI esa ushbu qoidalar doirasida qaror qabul qilishni optimallashtiradi. Shu bilan ISO–AI integratsiyasi institusional barqarorlikni yangi darajaga ko‘taradi [1, 2].

Institusional barqarorlik deganda korxonalar yoki tizimning tashqi shoklar, bozor o‘zgarishlari va texnologik transformatsiyalarga qaramasdan barqaror ishlay olish qobiliyati tushuniladi. ISO standartlari bu barqarorlikni reglamentlar va audit orqali ta’minlasa, AI uni prognozlash va oldindan moslashish orqali mustahkamlaydi.

ISO–AI muhitida institusional barqarorlik faqat qoidalarga itoat emas, balki qoidalarning samaradorligini doimiy qayta baholashga asoslanadi. AI standartlar qay darajada amal qilayotganini, qayerda samaradorlik pasayayotganini va qayerda yaxshilash imkoniyati borligini aniq ko‘rsatadi. Bu esa standartlarni “qotib qolgan” hujjat emas, balki evolyutsiya qiluvchi boshqaruv tizimiga aylantiradi.

ISO standartlari va sun‘iy intellektni integratsiyalash nazariy model emas, balki amaliy boshqaruv mexanizmi sifatida ishlaydi. Bu mexanizm korxonadagi barcha asosiy jarayonlarni — sifat, energiya, ta’minot, logistika va innovatsiyani yagona ma’lumotli muhitga bog‘laydi [1, 2, 7].

Amaliyotda ISO–AI integratsiyasi quyidagi prinsiplarga tayanadi:

- jarayonlarni raqamlashtirish va standartlashtirish;
- ma’lumotlarni markazlashgan bazaga jamlash;
- AI orqali tahlil va prognoz qilish;
- ISO talablari asosida qarorlarni baholash;
- uzluksiz yaxshilash.

Bu tizimda inson ekspertlari ISO standartlarining ma’no va maqsadini belgilasa, AI ularning bajarilish darajasini hisoblaydi. Natijada subyektiv baholash o‘rnini ma’lumotlarga asoslangan nazorat egallaydi.

ISO–AI integratsiyasi korxonaning barcha darajasida — strategik, taktik va operasion — qaror qabul qilishni yagona metodologik asosga bog‘laydi. Bu esa sifat boshqaruvida fragmentar yondashuvdan tizimli boshqaruvga o‘tishni ta’minlaydi.

ISO standartlarining markaziy g‘oyasi — uzluksiz yaxshilashdir. AI esa ushbu g‘oyani real vaqtda amalga oshirish imkonini beradi. Monitoring faqat tekshirish emas, balki o‘rganish jarayoniga aylanadi.



ISO–AI muhitida monitoring quyidagicha amal qiladi: har bir jarayon bo‘yicha sifat, energiya sarfi, xatolar, vaqt va xarajatlar haqidagi ma’lumotlar yig‘iladi va AI algoritmlari orqali tahlil qilinadi. Bu tahlil ISO talablari bilan solishtiriladi va avtomatik ravishda yaxshilash bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Bu munosabatni umumiy samaradorlik indeksi orqali ifodalash mumkin:

$$E_{total} = \frac{E + SS + IP}{3}$$

bu yerda:

$E_{total}$ — ISO–AI tizimining umumiy integratsiya samaradorligi;

$E$ — asosiy sifat samaradorligi;

$SS$ — strategik samaradorlik;

$IP$ — innovasion potensial.

Bu formula shu yerda keltirilgan, chunki u ISO–AI tizimining sifat, strategiya va innovatsiya o‘rtasidagi muvozanatini yagona ko‘rsatkichga keltiradi. U monitoringni faqat lokal ko‘rsatkichlar emas, balki tizimli samaradorlik asosida baholashga imkon beradi.

ISO–AI asosidagi monitoring natijasida korxonada o‘z faoliyatini faqat o‘tmish natijalariga emas, balki kelgusi ssenariylarga qarab ham boshqaradi. Bu esa uzluksiz yaxshilashni reaktiv emas, proaktiv jarayonga aylantiradi.

An’anaviy sifat boshqaruvi ISO standartlariga asoslangan holda asosan reglament, audit va statistik nazoratga tayanadi. Bu yondashuv barqaror muhitda samarali, ammo dinamik bozor va texnologik o‘zgarishlar sharoitida yetarli emas [4, 5]. Sun’iy intellekt integratsiyasi esa ushbu cheklovlarni bartaraf etadi.

ISO–AI modeli an’anaviy ISO tizimiga nisbatan quyidagi ustunliklarga ega:

- qaror qabul qilish tezligi;
- prognozlash imkoniyati;
- risklarni oldindan aniqlash;
- resurslarni intellektual taqsimlash.

Bu farqni aniq ko‘rsatish uchun quyidagi taqqoslama jadval keltiriladi.

1-jadval. An’anaviy ISO va ISO–AI modelining taqqoslama

Mezon	An’anaviy ISO	ISO–AI modeli
Nazorat	Davriy audit	Real vaqt monitoringi
Qaror qabul qilish	Ekspertga tayanadi	Ma’lumot va AI asosida
Risklar	Orqaga qarab baholanadi	Oldindan bashorat qilinadi
Innovatsiya	Sekin	Tez va hisoblangan
Samaradorlik	Barqaror	Dinamik optimal

Bu jadval shu yerda keltirilgan, chunki u ISO–AI integratsiyasining metodologik ustunligini aniq ko‘rsatadi va innovasion sifat boshqaruvi nega aynan intellektual modelga o‘tishi kerakligini asoslaydi.

Xalqaro tajriba shuni ko‘rsatadiki, ISO standartlarini raqamli va AI asosida joriy etgan korxonalar sifat, energiya samaradorligi va innovatsiyada yuqori natijalarga erishmoqda [1, 2, 7]. Ayniqsa, sanoat 4.0 konsepsiyasi doirasida ISO–AI integratsiyasi asosiy ustunlikka aylanmoqda.

Yevropa, Yaponiya va Janubiy Koreya korxonalari ISO 9001 va ISO 50001 tizimlarini AI asosidagi monitoring platformalari bilan bog‘lab, ishlab chiqarish xatolarini kamaytirish va energiya sarfini optimallashtirishga erishmoqda. Bu tajriba shuni ko‘rsatadiki, standartlar va AI o‘rtasidagi sinergiya raqobatbardoshlikni keskin oshiradi.

ISO–AI integratsiyasi xalqaro miqyosda sifat boshqaruvini faqat muvofiqlikni tekshirishdan strategik raqobat quroliga aylantirmoqda. Shu nuqtai nazardan, ushbu model rivojlanayotgan iqtisodiyotlar uchun ham yuqori ahamiyatga ega, chunki u sifatni raqamli transformatsiya bilan bog‘laydi.

ISO–AI integratsiya modeli faqat texnik yangilik emas, balki sifatni boshqarishning yangi ilmiy paradigmasini ifodalaydi. Unda sifat statik me‘yorlarga muvofiqlik sifatida emas, balki dinamik, o‘zgaruvchan va prognoz qilinadigan tizim sifatida qaraladi [3, 6]. Shu sababli ISO–AI modeli zamonaviy ilmiy metodologiyaga to‘liq mos keladi.

An’anaviy ISO standartlari sifatni reglamentlar va protseduralar orqali ta‘minlaydi. Ammo globallashuv, raqamlashuv va raqobat kuchaygan sharoitda bu yetarli emas. AI esa standartlarda belgilangan talablarni real vaqtda o‘lchaydi, tahlil qiladi va ularning bajarilish darajasini oldindan bashorat qiladi. Shu orqali ISO–AI modeli sifatni faqat nazorat qilish emas, balki uni oldindan boshqarish mexanizmiga aylantiradi.

Bu modelning ilmiy ahamiyati shundaki, u klassik sifat nazariyasini (Deming, Juran, ISO) sun‘iy intellekt nazariyasi bilan integratsiya qiladi va ularni yagona metodologik asosga keltiradi. Amaliy jihatdan esa, ISO–AI korxonalariga:

- sifat yo‘qotishlarini kamaytirish;
- energiya va resurs samaradorligini oshirish;
- risklarni oldindan boshqarish;
- innovatsiyani tez joriy etish imkonini beradi.

ISO–AI modeli sifat boshqaruvining kelajagini belgilaydigan fundamental yo‘nalish sifatida qaraladi. Bu paradigmaga ko‘ra, sifat endi faqat mahsulot yoki xizmat xususiyati emas, balki butun korxonaga va jamiyat faoliyatini intellektual tarzda optimallashtiruvchi tizimga aylanadi [7, 8].

Sun‘iy intellekt standartlarga moslikni tekshiruvchi vosita emas, balki standartlarning dinamik interpretatoriga aylanadi. Ya‘ni AI ISO talablarini ishlab chiqarish muhiti, bozor talabi va texnologiyalar bilan uzluksiz bog‘lab turadi. Bu holatda ISO standartlari “qotib qolgan me‘yorlar” emas, balki “aqli boshqaruv algoritmlari” shakliga kiradi.

Shuning uchun ISO–AI modeli faqat korxonalar uchun emas, balki milliy sifat infratuzilmasi, davlat boshqaruvi va raqamli iqtisodiyot uchun ham strategik ahamiyatga ega.

#### 4. Xulosa

Tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, xalqaro sifat standartlari va sun‘iy intellekt texnologiyalarining integratsiyasi sifat boshqaruvida mutlaqo yangi ilmiy-metodologik bosqichni shakllantiradi. ISO standartlari normativ asosni ta‘minlasa, AI ularni real vaqtda o‘lchash, tahlil qilish va prognozlash orqali amalda ishlaydigan intellektual mexanizmga aylantiradi.

ISO–AI modeli sifatni faqat muvofiqlik darajasi sifatida emas, balki raqobatbardoshlik, energiya samaradorligi, innovatsiya va barqaror rivojlanishni ta‘minlovchi strategik resurs sifatida talqin qiladi. Bu esa uni zamonaviy iqtisodiyot uchun ilmiy va amaliy jihatdan eng istiqbolli yondashuvga aylantiradi.

#### 5. Adabiyotlar

1. ISO 9001:2015 – Sifat menejmenti tizimlari. Talablar.
2. ISO 50001:2018 – Energiya menejmenti tizimlari. Qo‘llash bo‘yicha talablar va ko‘rsatmalar.
3. ISO 9004:2018 – Sifatni barqaror muvaffaqiyatga yo‘naltirish. Menejment sifati.
4. ISO/IEC 22989:2022 – Sun‘iy intellekt tushunchalari va atamalari.
5. ISO/IEC 23894:2023 – Sun‘iy intellekt risklarini boshqarish.
6. Deming W. E. Out of the Crisis. MIT Press.
7. Juran J. M. Quality Planning and Analysis. McGraw-Hill.
8. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson.



## VEB-ILOVALARDAGI FOYDALANUVCHI XATTI-HARAKATLARINI ANIQLASHNI INTELLEKTUAL TAHLIL QILISH ALGORITMLARI VA KIBERXAVFSIZLIKDAGI AHAMIYATI

Alimova F. M., Xayrillayev A. Z.

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti

**Annotatsiya:** Veb-texnologiyalar va bulutli hisoblash platformalarining jadal ommalashishi axborot xavfsizligini ta'minlashni tubdan o'zgartirishga xizmat qilmoqda. Mavjud an'anaviy himoya vositalari ichki tahdidlar hamda autentifikatsiya ma'lumotlarining buzilishi bilan bog'liq murakkab kiberhujumlarni aniqlashda o'z samarasini yo'qotmoqda. Ushbu tadqiqot ishi Mashinaviy o'rganish (ML) metodologiyalariga asoslangan foydalanuvchilar va obyektlar xulq-atvorini intellektual tahlil qilish (UEBA) tizimlari uchun algoritmlar ishlab chiqishning konseptual asoslarini taqdim etadi. Mazkur tadqiqot ishida veb-muhitdagi foydalanuvchi faoliyatini tahlil qilish orqali anomal xatti-harakatlarni erta bosqichda identifikatsiya qilish masalasi o'rganiladi. Tadqiqot metodologiyasi ko'p o'lchovli ma'lumotlar to'plamida anomalialarni ajratishga mo'ljallangan Isolation forest va OC-SVM algoritmlarini qo'llashga asoslangan. Tadqiqot doirasida veb-ilova jurnallari hamda axborot xavfsizligi va hodisalarni boshqarish (SIEM) tizimlaridan ma'lumotlarni yig'ish, xususiyatlar muhandisligi va ko'p bosqichli xavf ballarini hisoblash (risk-scoring) tizimining texnologik jarayonlari batafsil bayon etilgan. Xulosa qilib aytganda, adaptiv va intellektual xulq-atvor modellari zamonaviy kiberxavfsizlik ekotizimlarining evolyutsion rivojlanishida strategik rol o'ynaydi.

**Kalit So'zlar:** Foydalanuvchi xulq-atvori tahlili (UBA); Foydalanuvchi va obyekt xulq-atvori tahlili (UEBA); Anomaliyani aniqlash; Mashinaviy o'rganish; Chuqur o'rganish; Ichki tahdid; Veb ilova xavfsizligi; Kiberxavfsizlik.

**Аннотация:** Стремительное распространение веб-технологий и платформ облачных вычислений приводит к коренному пересмотру подходов к обеспечению информационной безопасности. Традиционные средства защиты утрачивают эффективность при выявлении сложных кибератак, связанных с внутренними угрозами и компрометацией аутентификационных данных. В данной работе представлены концептуальные основы разработки алгоритмов для систем интеллектуального анализа поведения пользователей и объектов (UEBA), основанных на методах машинного обучения (ML). В исследовании рассматривается задача ранней идентификации аномального поведения посредством анализа активности пользователей в веб-среде. Методология исследования базируется на применении алгоритмов Isolation Forest и OC-SVM, предназначенных для выявления аномалий в многомерных наборах данных. В рамках работы подробно описаны технологические процессы сбора данных из журналов веб-приложений и систем управления событиями и информационной безопасностью (SIEM), инженерии признаков, а также построения многоуровневой системы оценки рисков (risk scoring). В заключение отмечается, что адаптивные и интеллектуальные модели поведения играют стратегическую роль в эволюционном развитии современных экосистем кибербезопасности.

**Ключевые слова:** анализ поведения пользователей (UBA); анализ поведения пользователей и объектов (UEBA); обнаружение аномалий; машинное обучение; глубокое обучение; внутренние угрозы; безопасность веб-приложений; кибербезопасность.

**Abstract:** The rapid proliferation of web technologies and cloud computing platforms is fundamentally transforming approaches to ensuring information security. Traditional security mechanisms are losing effectiveness in detecting complex cyberattacks associated with insider

threats and the compromise of authentication data. This study presents the conceptual foundations for developing algorithms for User and Entity Behavior Analytics (UEBA) systems based on machine learning (ML) methodologies. The research focuses on the early identification of anomalous behavior through the analysis of user activity in web environments. The methodology is based on the application of Isolation Forest and One-Class Support Vector Machine (OC-SVM) algorithms for anomaly detection in multidimensional datasets. The study also provides a detailed description of technological processes, including data collection from web application logs and Security Information and Event Management (SIEM) systems, feature engineering, and the implementation of a multi-stage risk scoring system. In conclusion, adaptive and intelligent behavior models are shown to play a strategic role in the evolutionary development of modern cybersecurity ecosystems.

**Keywords:** User Behavior Analytics (UBA); User and Entity Behavior Analytics (UEBA); anomaly detection; machine learning; deep learning; insider threat; web application security; cybersecurity.

## 1. Kirish

Hozirgi davr axborot tizimlarida kiber-himoya samaradorligi ko'p jihatdan autentifikatsiya ma'lumotlarining yaxlitligi bilan belgilanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, an'anaviy xavfsizlik tizimlari (Firewall, IDS) ma'lumotlar bazasidagi signaturalarga tayangani sababli, ruxsat etilgan kirish kanallari orqali sodir etiladigan murakkab ichki hujumlarni aniqlash imkoniyatiga ega emas. Ayniqsa, hisobni egallab olish va ichki xodimlar tomonidan sodir etiladigan qoidabuzarliklar kabi yashirin tahdidlar perimetrli himoya tizimlarini chetlab o'tishi, xavfsizlikning yangi, xulq-atvor tahliliga asoslangan modellarini ishlab chiqishni taqozo etmoqda [11].

Mazkur tadqiqotda UEBA konsepsiyasi subyekt va obyektlarning (server, tarmoq infratuzilmasi va h.k.) operatsion dinamikasini tahlil qilishning asosiy mexanizmi sifatida talqin etiladi. Ma'lumotlar intellektual tahlili usullari yordamida foydalanuvchi faoliyatining normal profili yaratiladi. Ushbu profilga nisbatan qayd etilgan statistik anomalialar kiberxavfsizlik nuqtai nazaridan potentsial tahdid indikatorlari sifatida baholanadi [2, 12].

### 1.1. Muammo bayonoti

Web-ilovalar zamonaviy axborot infratuzilmasining strategik aktivlari va ma'lumotlar bazasiga kirishning asosiy nuqtalari hisoblanadi. Mazkur ilovalar tomonidan generatsiya qilinadigan jurnallar foydalanuvchi hatti-harakatlari - autentifikatsiya vaqtlari, resurslar ierarxiyasi, ma'lumotlar tranzaksiyasi hajmi va "kliklar oqimi" traektoriyalari haqidagi ma'lumotlarni vaqtinchalik ketma-ketliklarni shakllantiradi [6]. Biroq, xavfsizlikka oid ushbu "Katta ma'lumotlar" (Big Data) oqimining hajmi, generatsiya tezligi va ko'p o'lchovliligi an'anaviy statistik metodlar yoki inson resursi yordamida tahlil qilish imkoniyatini amaliy jihatdan cheklaydi [13].

Tadqiqotning asosiy ilmiy muammosi quyidagi funksional imkoniyatlarga ega bo'lgan adaptiv, real vaqt rejimida ishlovchi mashinaviy o'rganish modellarini ishlab chiqishdan iborat:

1. Yuqori aniqlikdagi xulq-atvorni vaqtli seriyalardagi murakkab, nohiziqli naqshlarni tahlil qilish orqali, inson faoliyatiga xos bo'lgan stoxastik shovqin va o'zgaruvchanlikni inobatga olgan holda shaxsiylashtirilgan xulq-atvor modellarini yaratish.
2. Latent anomalialarni aniqlash va ma'lumotlar nomutanosibligini bartaraf etish - bir necha sessiya yoki resurslar doirasida tarqalgan, sezilsiz chetlanishlarni identifikatsiya qilishdir. Bunda tizim sinflar taqsimotining keskin qiyshiligi (ya'ni, anomal hodisalarning umumiy oqimda o'ta kam ulushga egaligi) muammosiga chidamli bo'lishi lozim [14].



Mazkur yondashuvning tatbiq etilishi, ichki tahdidlar natijasida kelib chiqadigan va oylab aniqlanmay qolishi mumkin bo'lgan moliyaviy zararlarga nisbatan tashkiliy barqarorlikni sezilarli darajada oshiradi [10, 15].

## 2. Materiallar va metodlar: mashinaviy o'rganish algoritmlari

Veb-ilovalar muhitida xulq-atvor anomaliyalarini identifikatsiya qilish metodologiyasi ma'lumotlar agregatsiyasi va chuqurlashtirilgan xususiyatlar muhandisligidan tortib, modellarni amaliyotga joriy etish hamda dinamik xavfni baholash tizimini shakllantirishgacha bo'lgan ko'p bosqichli va mustahkam texnologik konveyerni qamrab oladi [7].

### 2.1. Ma'lumotlarni yig'ish va xususiyatlar muhandisligi

Tizimning kirish ma'lumotlari veb-ilovalar, server infratuzilmasi va autentifikatsiya platformalaridan olinadigan vaqtli qatorlar ko'rinishidagi jurnallardan shakllanadi. Bunga kliklar oqimi, API so'rovlar va server darajasidagi operatsion hodisalar kiradi. Tadqiqotning fundamental bosqichi hisoblangan xususiyatlar muhandisligi xom jurnal yozuvlarini (IP-manzillar, vaqt tang'alari, HTTP holat kodlari) yuqori qiymatga ega miqdoriy xulq-atvor ko'rsatkichlariga o'zgartirish nazarda tutadi [6, 22]. Asosiy metodologik maqsad - foydalanuvchi faoliyatining dinamikasini va kontekstini to'liq aks ettiruvchi ko'p o'lchovli vaqtli qatorlar modelini shakllantirishdan iborat.

1-jadval. Fundamental xulq-atvor xususiyatlari

Xususiyatlar toifasi	Metrika va hisoblash usuli	Tavsifi va ahamiyati
Vaqtinchalik (Temporal)	Entropiya, Dispersiya, Chastota	Faoliyatning barqarorligi va vaqtinchalik anomaliyalarni aniqlash.
Resurs diversifikatsiyasi	Shennon indeksi (H)	Foydalanuvchi uchun xos bo'lmagan yangi resurslarga kirishni aniqlash.
Ma'lumotlar sezgirligi	Siyosatga asoslangan vaznli ball	Kritik ma'lumotlar bilan ishlashdagi xavf darajasini baholash.
Trafik dinamikasi	Inbound/Outbound Ratio	Ma'lumotlarni ommaviy yuklab olish yoki sizdirish harakatlarini aniqlash.

### 2.2. Kuzatilmaydigan anomaliyani aniqlash modellar

Tadqiqotda "zero-day" hujumlarini aniqlash maqsadida Isolation forest algoritmidan foydalaniladi. Mazkur metodning afzalligi shundaki, u ma'lumotlarning normal taqsimotini modellashtirish o'rniga, anomaliyalarni to'g'ridan-to'g'ri izolyatsiya qilishga yo'naltirilgan. Qarorlar daraxti ierarxiyasida anomal nuqtalarning qisqa masofada ajralishi ularning g'ayritabiiylik darajasini belgilaydi [3]. Algoritmning  $O(n \log n)$  darajadagi samaradorligi yuqori o'lchovli xavfsizlik ma'lumotlarini tahlil qilishda resurslarni sezilarli darajada tejash imkonini beradi.

Foydalanuvchining individual xulq-atvor modelini qurishda OC-SVM algoritmi xususiyatlar maydonidagi normal holat klasterini ajratib turuvchi noxiziqli gipertekislikni quradi. RBF yadrosi yordamida amalga oshiriladigan ushbu xaritalash jarayoni tizimning normal faoliyat ko'lamini aniq belgilashga xizmat qiladi. Optimallashtirish jarayoni xususiyatlar fazosini minimallashtirish orqali modelning sezgirligini oshiradi [4]. Mazkur chiziqli bo'lmagan chegara foydalanuvchi faoliyatidagi mikroskopik og'ishlarni ham identifikatsiya qilishga qodir bo'lib, chegaradan tashqaridagi har qanday harakatni real vaqt rejimida anomaliya sifatida qayd etadi.

### 2.3. Ketma-ketlik tahlili uchun chuqur o'rganish

Veb-ilovalar muhitida foydalanuvchi xulq-atvorini belgilovchi eng muhim omil - bu harakatlarning mantiqiy ketma-ketligidir. Shu sababli, sekvensial ma'lumotlarni tahlil qilishda rekurrent neyron tarmoqlari (RNN) va ularning modifikatsiyalari fundamental ahamiyatga ega [5].

Xususan, LSTM arxitekturasi o'zining ventilli mexanizmlari (kirish, unutish va chiqish ventillari) yordamida ketma-ketliklardagi uzoq muddatli bog'liqliklarni va kontekstual ma'lumotlarni o'rganishda yuqori samaradorlik namoyish etadi [24]. Bu xususiyat LSTM tarmoqlarini foydalanuvchining odatiy buyruqlar zanjiri yoki kliklar oqimi traektoriyasini modellashtirish uchun optimal ish quroliga aylantiradi. Anomaliyalarni identifikatsiya qilish sinov ketma-ketligini tiklashdagi rekonstruksiya xatoligini hisoblashga asoslanadi; xatolik koeffitsientining yuqoriligi mazkur ketma-ketlikning o'rganilgan normal naqshlardan statistik jihatdan sezilarli darajada og'irishini anglatadi [18].

$$\text{Anomaliya Ball} = \sum_{t=1}^T ||x_t - \hat{x}_t||^2 \quad (1)$$

Bu yerda  $x_t$  vaqt  $t$  dagi haqiqiy harakat, va  $\hat{x}_t$  LSTM dekoderidan qayta qurilgan harakatdir.

## 3. Natijalar va muhokama

### 3.1. Algoritmning qiyosiy ishlash ko'rsatkichlari

Empirik tadqiqotlar natijalari, xususan, ochiq xavfsizlik ma'lumotlar to'plamlari (CERT Insider Threat, KDD Cup 1999/2007) asosida o'tkazilgan tajribalar, Mashinaviy o'rganishga (MO) asoslangan UEBA tizimlarining an'anaviy statistik metodlarga nisbatan yuqori samaradorligini doimiy ravishda tasdiqlamoqda [8, 9]. Tadqiqot shuni ko'rsatadiki, muayyan algoritmnı tanlash bevosita kutilayotgan tahdid vektori va tizimning hisoblash resurslariga bog'liq. LSTM modellari ketma-ket hujumlarni aniqlashda yuqori to'liqlik koeffitsientini ta'minlab, Yolg'on-manfiy natijalar darajasini minimallashtiradi. O'z navbatida, Isolation forest algoritmi nuqtali anomaliyalarni real vaqt rejimida aniqlashda yuqori miqyoslanuvchanlik va operatsion tezlikni namoyish etadi.

2-jadval. Algoritmning qiyoslash

Algoritm	O'rganish turi	Vaqt murakkabligi (xulosa)	Asosiy afzallik
LSTM	Kuzatilmaydigan/ yarim-kuzatiladigan	$O(T n m^2)$ (bu yerda $T$ ketma-ketlik uzunligi)	Vaqtinchalik kontekst va ketma-ketlik anomaliyalarini qamrab oladi [5]
Izolyatsiya o'rmoni	Kuzatilmaydigan	$O(n \log n)$	Yuqori o'lchamli ma'lumotlarda yuqori samaradorlik; miqyoslilik [3]
OC-SVM	Kuzatilmaydigan	$O(n^2)$ dan $O(n^3)$ gacha	Mustahkam, chiziqli bo'lmagan chegarani aniqlash, kichik/toza ma'lumotlarda samarali [4]

LSTM arxitekturasi diqqat mexanizmi bilan boyitilishi kiberxavfsizlik tahlilida yangi bosqichni belgilab berdi. Ushbu mexanizm uzoq vaqtli va murakkab harakatlar zanjirida aynan qaysi hodisa anomaliyaga sabab bo'lganini og'irlik koeffitsientlari orqali aniqlash imkonini beradi. Bu esa yuqori aniqlikdagi klassifikatsiya bilan bir qatorda, xavfsizlik hodisalarini diagnostika qilishda yuqori samaradorlikni ta'minlaydi [25].



### 3.2. Xavf ballarini hisoblash va jiddiylilik darajasini aniqlash

Amaliy UEBA platformasining fundamental tarkibiy qismlaridan biri - identifikatsiya qilingan anomaliyalarni operativ chora ko'rishga asos bo'ladigan integrallashgan xavf koeffitsientiga transformatsiya qilishdir [16]. Yakuniy xavf balli ( $R_{score}$ ) xom anomaliyaning jiddiylilik darajasi hamda deterministik kontekstual omillarning dinamik funksiyasi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$R_{score} = w_1 A_{jiddiyligi} + w_2 C_{foydalanuvchi} + w_3 T_{resurs} + w_4 H_{hodisalar} \quad (2)$$

Bu yerda  $A_{jiddiyligi}$  anomaliyaning statistik jiddiyligi,  $C_{foydalanuvchi}$  foydalanuvchining tarixiy xavf profili (masalan, yuqori xavfli foydalanuvchi),  $T_{resurs}$  kirilgan resursning sezgirligi,  $H_{hodisalar}$  boshqa bir vaqtning o'zida sodir bo'lgan hodisalar bilan bog'liqlik va  $w_i$  o'rganilgan og'irliklardir [14, 17]. Xavfga asoslangan ushbu yondashuv ogohlantirishlar tashkiliy ta'sir asosida ustuvor bo'lishini ta'minlaydi, ogohlantirish charchog'ini minimallashtiradi va SOC ning tezkor javobini ta'minlaydi.

Kiberxavfsizlik ekotizimida mashinaviy o'rganish modellarining interpretatsiyaviylik (interpretability) qobiliyati xavfsizlik hodisalariga tezkor va samarali javob qaytarishda hal qiluvchi omil hisoblanadi. Tahlilchilar tizim tomonidan qayd etilgan har bir anomaliyaning mantiqiy asoslarini aniq tushunishlari talab etiladi. Shu maqsadda, LSTM kabi arxitekturalariga inson tomonidan tahlil qilinishi mumkin bo'lgan tushuntirishlarni taqdim etuvchi algoritmlar integratsiya qilinadi. Ushbu metodologiyalar har bir kirish xususiyatining yakuniy xavf balliga qo'shgan hissasini miqdoriy baholash imkonini beradi, bu esa o'z navbatida intellektual tizimning ishonchliligini va amaliy foydaliligini sezilarli darajada oshiradi [3, 22].

## 4. Xulosa va kelajakdagi ishlar

### 4.1. Xulosa

Intellektual tahlil algoritmlari zamonaviy axborot xavfsizligi tizimlarida, xususan, veb-ilovalarni murakkab kiber-tahdidlardan himoya qilishda fundamental zaruriyat hisoblanadi. Ilg'or mashinaviy o'rganish va chuqur o'rganish modellarining UEBA tizimlariga integratsiyalashuvi tashkilotlarga reaktiv, qoidalarga asoslangan himoya strategiyasidan faol, adaptiv va xulq-atvor tahliliga tayanuvchi himoya modeliga o'tish imkonini beradi [1, 2]. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, isolation forest va OC-SVM kabi nazoratsiz o'rganish algoritmlari yuqori tezlikdagi anomaliyalarni identifikatsiya qilishda samarali bo'lsa, LSTM kabi temporal modellar ko'p bosqichli va murakkab ketma-ketlikdagi tahdidlarni aniqlash uchun zarur kontekstual tahlilni ta'minlaydi [5, 24]. Ushbu metodologiyaning muvaffaqiyati aniq xulq-atvor etalonlarini shakllantirish, kichik amplitudali anomaliyalarni o'z vaqtida qayd etish hamda ularni dinamik xavf ballari orqali operativ qaror qabul qilishga asos bo'ladigan ustuvor ogohlantirishlarga transformatsiya qilish qobiliyati bilan belgilanadi [9, 14].

### 4.2. Kelajakdagi ishlar

Kelajakdagi tadqiqotlar joriy cheklovlarni bartaraf etish uchun uchta asosiy yo'nalishga e'tibor qaratishi kerak:

1. Hujumlarda ishlatiladigan mashinaviy o'rganish mustahkamligi - zararli foydalanuvchilar o'zlarining haqiqiy g'ayritabiiy faoliyatlarini niqoblash uchun ataylab normal ko'rinishdagi shovqin hosil qiladigan ma'lumotlarni zaharlash yoki qochish hujumlariga chidamli bo'lgan UEBA modellarini ishlab chiqish [26].

2. Federativ o'rganish va maxfiylikni saqlovchi UEBA modellariga xom foydalanuvchi ma'lumotlarining maxfiylikni buzmasdan va GDPR kabi qat'iy qoidalarga rioya qilgan holda markazlashmagan, ko'p tashkilotli ma'lumotlar to'plamlaridan (masalan, tahdid razvedkasi

ma'lumotlarini almashayotgan banklar) o'rganishga imkon berish uchun federativ o'rganishdan foydalanishni o'rganish [27].

3. Foydalanuvchi xulq-atvorini faqat ketma-ketlik sifatida emas, balki foydalanuvchilar, ilovalar va ma'lumotlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarning murakkab tarmoqlari sifatida modellashtirish uchun graf neyron tarmoqlarini o'rganish, bu esa murakkab til biriktirish yoki tashkiliy darajadagi tahdidlarni aniqlash imkoniyatini beradi [28].

## 5. Adabiyotlar

1. Al-Mhiqani, M. N., et al. (2020). A framework for detecting insider threats based on user behavior patterns using recurrent neural networks. *Journal of Cybersecurity and Forensics*, 10(4), 112-125.
2. Zhang, J., & Yan, L. (2025). Adaptive attention network architecture for interpretable anomaly detection in corporate information systems. *IEEE Transactions on Cybernetics*.
3. Klots, Y., et al. (2025). Intelligent data monitoring anomaly detection system based on statistical and machine learning approaches. *CEUR Workshop Proceedings*, 4042, 80-89.
4. Wang, C., Liu, C., & Zeng, S. (2023). User behavior anomaly detection for cloud platforms using an improved One-Class Support Vector Machine. *Security and Communication Networks*, 2023.
5. Perapu, P. P. (2025). Anomaly Detection in User Behaviour Using Machine Learning For Cloud Platforms. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology*, 11(3), 805-809.
6. Dommari, S. (2022). Self-learning algorithms and attention mechanisms for hidden pattern identification in user actions. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(5), 18-25.
7. Deng, S., et al. (2021). Anomaly detection system for web access logs based on a novel feature extraction and deep learning method. *Future Generation Computer Systems*, 124, 196-207.
8. Saha, A., & Balamurugan, V. (2024). A comparative study of machine learning algorithms for insider threat detection using CERT data. *Procedia Computer Science*, 232, 212-221.
9. Zuech, E., et al. (2022). Survey of machine learning applications in insider threat detection. *Journal of Network and Computer Applications*, 198, 102914.
10. Legg, S. (2023). The hidden cost of credential compromise: Analyzing the dwell time of insider threats. *Cyber Defense Review*, 8(1), 35-50.
11. Al-Omari, H., & Al-Kabi, M. (2021). Enhancing web application security: A machine learning approach for anomaly-based intrusion detection. *Journal of Information Security and Applications*, 57, 102715.
12. Forrester Research. (2024). *The State of User and Entity Behavior Analytics (UEBA): 2024 Trends and Forecasts*.
13. Xu, Z., et al. (2020). Big data analysis for cybersecurity: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 134, 1-13.
14. Johnson, R. (2023). Reducing false positives in UEBA: A dynamic thresholding and risk scoring approach. *Security Journal*, 36(2), 290-310.
15. IBM Security. (2024). *Cost of a Data Breach Report*. (Specific finding regarding long dwell times).
16. Gartner Research. (2024). *Market Guide for User and Entity Behavior Analytics*.
17. Fabbri, M., et al. (2021). A system for insider threat detection based on behavior modeling and real-time monitoring. *Computer Networks*, 194, 108151.
18. Ma, R., & Liu, Q. (2022). Detecting user account compromise in online services using geo-velocity and LSTM networks. *IEEE Access*, 10, 89345-89357.



19. Ghasemzadeh, A., et al. (2023). A temporal analysis of APT lateral movement using sequence-to-sequence deep learning models. *Computers & Security*, 134, 103445.
20. Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2020). Anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 41(3), 1-58.
21. Van den Bosch, P., et al. (2023). Semi-supervised machine learning for detecting novel cyber threats in large enterprises. *Expert Systems with Applications*, 220, 119741.
22. Zampieri, F., et al. (2024). Explainable AI for Cybersecurity: A Survey on Interpretable Intrusion Detection Systems. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*.
23. Al-Quraishi, M., & Al-Bassam, M. (2021). Feature engineering for user profiling in web application security: A comparative study. *International Journal of Security and Its Applications*, 15(3), 121-135.
24. Chen, Y., et al. (2022). Deep learning-based sequence anomaly detection for user behavior modeling in web systems. *Neurocomputing*, 490, 312-320.
25. Chen, Y., et al. (2023). Attention-based LSTM for anomaly detection in user sequences: Enhancing interpretability and accuracy. *Pattern Recognition Letters*, 168, 1-8.
26. Biggio, B., & Roli, F. (2022). Adversarial machine learning in cybersecurity. *IEEE Security & Privacy*, 20(1), 81-87.
27. Mothukuri, V., et al. (2022). Federated learning for cybersecurity: A survey of trends and challenges. *Future Generation Computer Systems*, 127, 269-281.
28. Wang, C., et al. (2024). Graph neural networks for organizational security: Detecting collusive insider threats. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 19, 1034-1047.



## LI-FI TEXNOLOGIYASINI TELEKOMMUNIKATSIYA SOHASIDA QO'LLANILISHINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARINI TAHLIL QILISH

**Nodirbek Abdulxayev**

Kommunikatsiya va axborot texnologiyalar kafedrası, "University of management and future technologies" universiteti, Toshkent, 100208, O'zbekiston; [abdulxayev.nodirbek@gmail.com](mailto:abdulxayev.nodirbek@gmail.com)

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada Li-Fi (Light Fidelity) texnologiyasining telekommunikatsiya sohasidagi o'rni, afzalliklari va kamchiliklari ilmiy jihatdan tahlil qilinadi. Maqolada Li-Fi ning Wi-Fi va 5G bilan qiyosiy tahlili amalga oshirilgan bo'lib, yorug'lik to'lqinlari orqali ma'lumot uzatishning fizik asoslari, spektral samaradorligi hamda xavfsizlik xususiyatlari ko'rib chiqiladi. Sun'iy intellekt algoritmlari, xususan chuqur o'qitish (deep learning), kuchaytirilgan o'rganish (reinforcement learning) va neyron tarmoqlar yordamida Li-Fi tizimlarini optimallashtirish yo'llari taklif etiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, Li-Fi texnologiyasi yuqori tezlikli, xavfsiz va elektromagnit interferensiyasiz simsiz aloqa uchun istiqbolli yechim sifatida namoyon bo'ladi, ayniqsa sog'liqni saqlash, mudofaa, aviatsiya va sanoat IoT sohalarida keng qo'llanish imkoniyati, afzalliklari va samaradorligi tahlil qilinadi.

**Kalit so'zlar:** Li-Fi, VLC, OWC, OFDM, LED, fotodetektor, EMI, chuqur o'qitish (Deep Learning), kuchaytirilgan o'rganish (Reinforcement Learning), neyron tarmoqlar, IoT, optik kanal.

**Аннотация:** В данной статье проводится научный анализ роли, преимуществ и недостатков технологии Li-Fi (Light Fidelity) в сфере телекоммуникаций. В работе представлен сравнительный анализ Li-Fi с технологиями Wi-Fi и 5G, а также рассмотрены физические основы передачи данных с использованием световых волн, спектральная эффективность и характеристики безопасности.

Кроме того, предлагаются методы оптимизации систем Li-Fi с применением алгоритмов искусственного интеллекта, в частности глубокого обучения (Deep Learning), обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) и нейронных сетей.

Результаты исследования показывают, что технология Li-Fi является перспективным решением для высокоскоростной, безопасной и свободной от электромагнитных помех беспроводной связи. Особое внимание уделено возможностям её применения, преимуществам и эффективности в таких областях, как здравоохранение, оборона, авиация и промышленный IoT.

**Ключевые слова:** Li-Fi, VLC, OWC, OFDM, LED, фотодетектор, EMI, глубокое обучение, обучение с подкреплением, нейронные сети, IoT, оптический канал.

**Abstract:** This article provides a scientific analysis of the role, advantages, and disadvantages of Li-Fi (Light Fidelity) technology in the field of telecommunications. The study includes a comparative analysis of Li-Fi with Wi-Fi and 5G technologies, examining the physical principles of data transmission through light waves, spectral efficiency, and security characteristics.

Furthermore, methods for optimizing Li-Fi systems using artificial intelligence algorithms—particularly deep learning, reinforcement learning, and neural networks—are proposed.

The research findings indicate that Li-Fi technology represents a promising solution for high-speed, secure, and electromagnetic interference-free wireless communication. In particular, its potential applications, advantages, and efficiency are analyzed in sectors such as healthcare, defense, aviation, and industrial IoT.

**Keywords:** Li-Fi, VLC, OWC, OFDM, LED, photodetector, EMI, Deep Learning, Reinforcement Learning, Neural Networks, IoT, optical channel.



## 1. Kirish

Bugungi kunda zamonaviy axborot texnologiyalardan foydalangan xolda oliy ta'lim muassasalarida tehsil olayotgan tabalarni o'qitish va amaliy tajribasini oshirishga qaratilgan ko'plab ishlar olib borilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 2019-yil 8-oktabrdagi PF-5847-son farmoni qabul qilingan bo'lib, ushbu qarorning 1-ilovasining ikkinchi paragrifi ya'ni ta'lim jarayoniga raqamli texnologiyalar va zamonaviy usullarni joriy etishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va ta'lim texnologiyalarining mustahkam integratsiyasini ta'minlashga qaratilgan qator vazifalar belgilab berilgan [1].

Hozirda dunyo tajribasidan ko'rishimiz mumkinki oliy ta'lim tizimini rivojlantirishga qaratilgan qator zamonaviy texnologiyalardan foydalanib kelinmoqda. Shulardan biri esa Li-Fi texnologiyasini o'rganish va ta'lim jarayoniga tadbiiq etish lozim.

XXI asrning ikkinchi o'nilligi raqamli texnologiyalar rivojining yangi bosqichini boshlab berdi. Simsiz aloqa tizimlarining jadal rivojlanishi, ayniqsa Internet of Things (IoT), 5G va o'ta keng polosali tarmoqlarning keng joriy etilishi, mavjud radio chastota (RF) spektrining jiddiy qisqarib borayotganligi muammosini yanada keskinlashtirmoqda. Mutaxassislar fikricha, 2030 yilga borib mobil internet trafigi hajmi 2020 yilga nisbatan 100 martadan ortiq oshishi kutilmoqda. Bu holat RF spektri tanqisligi muammosini yanada dolzarb qilmoqda.

Bunday sharoitda Li-Fi (Light Fidelity) texnologiyasi - yorug'lik to'lqinlari, xususan ko'rinadigan yorug'lik diapazonida (380–780 nm) ma'lumot uzatuvchi optik simsiz aloqa texnologiyasi - muqobil yechim sifatida katta qiziqish uyg'otmoqda. Li-Fi tushunchasini birinchi marta 2011 yilda shotlandiyalik olim professor Harald Haas TED konferensiyasida taqdim etdi. U LED lampochkadan ma'lumot uzatish qurilmasi sifatida foydalanish konsepsiyasini ilgari surdi.

Mavjud RF-asosli simsiz tarmoqlar, xususan Wi-Fi, bir qator cheklovlarga ega: spektr bandidan foydalanishning chegaralanganligi, tibbiy va harbiy muhitlarda elektromagnit interferensiya (EMI) xavfi, hamda shifrlash mexanizmlarining yetarlicha kuchli emasligi. Li-Fi texnologiyasi ushbu muammolarga nisbatan tubdan yangi yondashuv taklif qiladi: yorug'lik to'lqinlari RF to'lqinlarga qaraganda 10,000 marta keng bo'lgan spektrdan foydalanadi, ular devor va to'siqlardan o'tmaydi (bu esa fizikaviy xavfsizlikni oshiradi) va EMI hosil qilmaydi [2].

Shu bilan birga, Li-Fi texnologiyasining keng tarqalishiga to'sqinlik qilayotgan bir qator muammolar mavjud: tashqi yorug'lik manbalari interferensiyasi, harakatchanlikning chegaralanganligi, yorug'lik to'siq orqali o'tmasligi, shuningdek, LED modulyatsiyasi va fotodetektor signalini real vaqtda qayta ishlashning texnik murakkabligidir. Mazkur maqola ana shu muammolarni tahlil qilish va sun'iy intellekt (AI) texnologiyalari yordamida ularni hal etish yo'llarini asoslash maqsadida yozilgan.

## 2. Adabiyotlar tahlili

Li-Fi texnologiyasi VLC (Visible Light Communication) va optik simsiz aloqa (OWC) tamoyillariga asoslanadi. Texnologiyaning ishi asosan uchta asosiy komponentdan tashkil topadi: ma'lumot yuboruvchi LED manba, optik aloqa kanali (havo muhiti) va fotodetektor qabul qiluvchi qurilma. LED elementlarning yoritish tezligini sekundiga millionlab marta modulyatsiya qilish imkoniyati aloqa kanalini shakllantiradi. Ushbu modulyatsiya insonning ko'zi bilan ilg'ab bo'lmaydi, ammo fotodetektor bu tebranishlarni signal sifatida qabul qiladi va qayta ma'lumotga aylantiradi [4].

Yorug'lik spektrining umumiy kengligi taxminan 300 THz ni tashkil etadi, bu esa mavjud RF spektrining butun bandining taxminan 10,000 baravariga teng. Buning ustiga, Li-Fi tizimlarida OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modulyatsiya usulidan foydalanish hisobiga ma'lumot uzatish tezligi 224 Gbit/s ga yetkazilganligi laboratoriya sharoitlarida

isbotlangan (Haas et al., 2015). Amaliy sharoitlarda esa 1–10 Gbit/s chegarasida ishlash ko'rsatkichlari qayd etilgan.

### 3. Tadqiqot natijalari

Li-Fi-da ma'lumot uzatishning asosiy fizik printsiplari - intensivlik modulyatsiyasi bevosita aniqlash (IM/DD: Intensity Modulation/Direct Detection) usuli hisoblanadi. LED intensivligini raqamli signalga qarab o'zgartirish, fotodiod esa yorug'lik intensivligi o'zgarishini elektr signaliga aylantirib beradi. Zamonaviy tizimlar ko'p kirish nuqtali (multi-AP) arxitekturasida qurilib, keng qamrovli tarmoq hosil qilish imkonini beradi [3].

Quyidagi 1-jadvalda Li-Fi, Wi-Fi (802.11ax/Wi-Fi 6) va 5G texnologiyalarining asosiy texnik ko'rsatkichlari qiyosiy tarzda keltirilgan:

1-jadval. Li-Fi, Wi-Fi va 5G texnologiyalarining qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	Li-Fi	Wi-Fi	5G
Tezlik	224 Gbit/s	~9.6 Gbit/s	~20 Gbit/s
Chastota diapazoni	400–800 THz	2.4/5 GHz	600 MHz–86 GHz
Xavfsizlik	Juda yuqori	O'rtacha	Yuqori
Spektr band. (MHz)	300,000,000	600	3,400
Qo'llash masofasi	10 m ichida	~100 m	Km ga qadar
Elektromagnit ta'sir	Yo'q	Bor	Bor
Energiya sarfi	Past (LED)	O'rtacha	Yuqori
Simsiz uzatish muhiti	Yorug'lik to'lqini	Radio to'lqin	Millimetr to'lqin
Tezlik	224 Gbit/s	~9.6 Gbit/s	~20 Gbit/s

Yuqoridagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, Li-Fi texnologiyasi spektral kengligi va ma'lumot uzatish tezligi bo'yicha aniq ustunlikka ega. Biroq, qamrov masofasining qisqaligi va harakatchanlikning chegaralanganligi uning keng tarqalishini sekinlashtirmoqda [7].

Li-Fi Texnologiyasining afzalliklariga quyidagilarni aytishimiz mumkin:

1. Yuqori o'tkazuvchanlik tezligi: Li-Fi yorug'lik to'lqinlari orqali ma'lumot uzatganligidan uning nazariy tezligi 224 Gbit/s ga yetadi. Bu Wi-Fi 6 ning maksimal tezligidan (9.6 Gbit/s) taxminan 23 baravar yuqori. Bunday tezlik 8K video oqimi, real vaqtli holografiya va katta hajmli ma'lumotlar markazlari aloqasi uchun yangi imkoniyatlar ochadi.

2. Elektromagnit interferensiya yo'qligi: Li-Fi signallari RF to'lqinlar chiqarmaydi. Bu tibbiy muassasalarda (MRI, ICU) va aviatsiyada katta ahamiyat kasb etadi, chunki RF interferensiyasi bu sohalarida jiddiy xavf tug'dirishi mumkin. Kasalxonalarda Wi-Fi ni Li-Fi bilan almashtirish hayotni saqlab qolish tibbiy asbob-uskunalarini ishonchligini sezilarli oshiradi [8].



3. Xavfsizlik: Yorug'lik to'lqinlari devor, derazasiz to'siq yoki boshqa fizikaviy to'siqlardan o'ta olmaydi. Bu degani Li-Fi tarmog'i ma'lumotlari faqat tegishli xona yoki binoning ichida tarqaladi. Eavesdropping (tinglash) uchun buzg'unchi bevosita xuddi shu makonida bo'lishi zarur, bu esa fizikaviy xavfsizlikni bir necha baravar oshiradi.

4. Spektr tanqisligi muammosini yechish: Hozirgi RF spektri ortib borayotgan talabni qondira olmayapti. Li-Fi 300 THz kenglikka ega optik spektrdan foydalanib, RF spektrining yukini sezilarli kamaytirishi mumkin. Bu 6G va kelajakdagi giperaloqa tizimlarida asosiy komponent sifatida ko'rilmog'ida.

5. Energiya samaradorligi: Li-Fi tizimlari allaqachon o'rnatilgan LED yoritish infratuzilmasidan foydalanadi. Bu qo'shimcha energiya xarajatini kamaytiradi. Yoritish va aloqa funksiyalarining birlashtirilishi (dual-purpose LED) energiya iqtisodiyotiga muhim hissa qo'shadi [9].

Li-Fi texnologiyasining noyob xususiyatlari uni bir qator maxsus sohalarda ayniqsa qimmatli qiladi:

2-jadval. Li-Fi texnologiyasining asosiy qo'llanish sohalari.

Soha	Qo'llanish misoli	Kutilayotgan natija
Sog'liqni saqlash	Kasalxona ichki tarmoqlari	EMI interferensiyasi yo'q
Ta'lim	Smart sinf xonalar	Tez va xavfsiz ma'lumot uzatish
Sanoat (Industry 4.0)	Robotika va avtomatika	Ishonchli real-vaqt boshqaruv
Mudofaa va xavfsizlik	Harbiy aloqa tizimlari	Eavesdropping xavfi minimallasadi
Aviatsiya	Samolyot ichki tarmog'i	RF interferensiyasiz ulanish
Smart uy (IoT)	LED chiroq + internet integratsiyasi	Energiya tejash + konnektivlik

Li-Fi texnologiyasining yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarini bartaraf etishda sun'iy intellekt (AI) va mashinali o'qitish (ML) texnologiyalari muhim rol o'ynamoqda [5]. AI algoritmlarining Li-Fi tizimlariga integratsiyasi quyidagi yo'nalishlarda amalga oshirilmoqda:

1. Chuqur o'qitish (Deep Learning) asosida signal sifatini oshirish. Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yorug'lik intensivligi o'zgarishlari va tashqi interferensiyalarni real vaqtda aniqlash va filtratsiya qilishda samarali qo'llanilmoqda. CNN modellari asosida qurilgan adaptiv shovqinni bostiruvchi filtrlar oddiy DSP filtrlariga nisbatan bit-xato darajasini (BER) 18% gacha kamaytirganligini amaliy tadqiqotlar tasdiqlaydi (Li et al., 2022). Bundan tashqari, generative adversarial network (GAN) asosida yaratilgan sun'iy ma'lumotlar to'plami orqali Li-Fi kanallarini modellashtirish va simulyatsiya qilish texnikasi ishlab chiqilmoqda.

2. LSTM Neyron tarmoqlari asosida trafik bashorati. Long Short-Term Memory (LSTM) modellari Li-Fi tarmoqlarida foydalanuvchi trafik namunalarini o'rganish va kelajakdagi tarmoq yukini oldindan bashorat qilish uchun qo'llanilmoqda. Bu texnologiya proaktiv resurs oldindan ajratish imkonini beradi - tarmoq uzilishi yoki sekinlashish ro'y berishidan avval zarur chora ko'riladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, LSTM-asosli trafik bashorati tizimi tarmoq samaradorligini 28% ga oshirishi va paketlarni yo'qotish darajasini 15% ga kamaytirishi mumkin.

3. Federativ o'rganish (Federated Learning) va ma'lumotlar maxfiyligi. Federativ o'rganish

yondashuvi Li-Fi tarmoqlari uchun ayniqsa muhimdir, chunki bu texnologiya markazlashtirilmagan holda ko'plab qurilmalarda modelni o'qitishga imkon beradi, bunda shaxsiy ma'lumotlar markaziy serverga yuborilmaydi. Bu yondashuv tibbiyot va moliya kabi maxfiylik muhim bo'lgan sohalarda Li-Fi ni keng joriy etishga yo'l ochadi [10].

AI algoritmlarining samaradorligini qiyosiy tahlili 3-jadvalda ko'rsatilgan.

Yuqoridagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, turli AI algoritmlari Li-Fi tizimining turli muammolarini hal etishda ixtisoslashgan [6]. Amaliyotda ushbu algoritmlarni gibridda birlashtirib qo'llash eng yuqori natijalarni beradi. Masalan, LSTM + DQN kombinatsiyasi tarmoq unumdorligini 45–50% gacha oshirish imkonini berganligini bir qator tadqiqotlar tasdiqlaydi.

3-jadval. Li-Fi tizimlarini optimallashtirish uchun AI algoritmlari taqqoslash

AI Algoritmi	Qo'llanish sohasi	Kutilayotgan natija
Deep Q-Network (DQN)	Dinamik kanal boshqaruvi	Uzatish tezligi 35% oshadi
CNN (Cong. Neural Network)	Signal sifati tahlili	Xato darajasi 18% kamayadi
LSTM	Trafik prognozi	Tarmoq samaradorligi +28%
Fuzzy Logic	Interferensiyani boshqarish	Signal to'qnashuvi 40% kamayadi
Genetic Algorithm	LED joylashuv optimizatsiyasi	Qamrov hududi 22% kengayadi
Federated Learning	Tarqatilgan tizim o'qitish	Xususiylik 100% himoyalangan

6G texnologiyasi kontekstida Li-Fi quyidagi yo'nalishlarda rivojlanishi kutilmoqda: teragerts (THz) aloqa bilan integratsiya orqali yanada yuqori tezliklarga erishish; gibridda Li-Fi/Wi-Fi/5G tizimlari yaratish, bu esa harakatchanlik muammosini hal etadi; smart muhitlarda (intelligent reflecting surfaces) Li-Fi signallarini qayta yo'naltirish texnologiyalari ishlab chiqilishi; hamda generative AI yordamida Li-Fi tarmoqlarini avtomatik sozlash va o'z-o'zini tuzatish imkoniyatlarini kengaytirish.

ITU (International Telecommunication Union) ning 2023 yilgi hisobotiga ko'ra, 2030 yilga borib global simsiz ma'lumot trafingining 20–30% ini optik simsiz texnologiyalar, jumladan Li-Fi, ta'minlashi prognoz qilinmoqda. Bu esa Li-Fi bozoriga \$75 milliarddan ortiq investitsiya jalb qilinishini anglatadi.

#### 4. Xulosa

Mazkur ilmiy maqolada Li-Fi texnologiyasining telekommunikatsiya sohasidagi o'rni, afzalliklari va kamchiliklari keng qamrovli tahlil qilinib, quyidagi xulosalarga kelindi:

Birinchi, Li-Fi texnologiyasi spektral kengligi (300 THz), ma'lumot uzatish tezligi (224 Gbit/s laboratoriya sharoitida), xavfsizlik (fizikaviy izolatsiya) va EMI yo'qligi kabi ko'rsatkichlar bo'yicha mavjud RF-asosli texnologiyalarga (Wi-Fi, 5G) nisbatan aniq ustunliklarga ega.

Ikkinchi, cheklangan qamrov masofasi, harakatchanlik muammosi, tashqi yorug'lik interferensiyasi va infratuzilma xarajatlari Li-Fi ning keng tarqalishiga to'sqinlik qiluvchi asosiy omillar hisoblanadi. Ushbu muammolarni hal etmasdan Li-Fi ni ommaviy texnologiya sifatida joriy etish mumkin emas.



Uchinchidan, sun'iy intellekt algoritmlari - xususan DQN, CNN, LSTM va federativ o'rganish - Li-Fi tizimlarining samaradorligini 28–50% gacha oshirish, xato darajasini kamaytirish va resurslarni maqbul boshqarish imkonini beradi. AI integratsiyasi Li-Fi ning amaliy kamchiliklarini texnologik jihatdan bartaraf etishning asosiy yo'li sifatida namoyon bo'ladi.

To'rtinchidan, sog'liqni saqlash, mudofaa, aviatsiya, sanoat avtomatikasi va maxfiy aloqa tizimlarida Li-Fi texnologiyasi muqobil yechim bo'lib qolmasdan, balki mutlaq ustunlikka ega bo'lgan hal qiluvchi texnologiyaga aylanmoqda.

Kelajakdagi tadqiqotlar Li-Fi va 6G, THz aloqa texnologiyalarining integratsiyasiga, shuningdek gibridd optik-radio tarmoqlarining yaratilishiga yo'naltirilishi maqsadga muvofiq. O'zbekistonda ham ushbu istiqbolli texnologiyani o'rganish va sinash uchun tajriba laboratoriyalari tashkil etish hamda milliy standartlash bazasini shakllantirish zarur.

## 5. Adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 2019-yil 8-oktabr sanasida qabul qilingan PF-5847-son farmoni.
2. Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. (2015). What is LiFi? *Journal of Lightwave Technology*, 34(6), 1533–1544. IEEE.
3. Tsonev, D., Videv, S., & Haas, H. (2014). Towards a 100 Gb/s visible light wireless access network. *Optics Express*, 23(2), 1627–1637. Optica Publishing Group.
4. Chen, Z., Basnayaka, D. A., & Haas, H. (2023). Reinforcement learning for resource allocation in LiFi networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 22(4), 2415–2430.
5. Li, X., Zhang, R., & Hanzo, L. (2022). Deep learning-based channel estimation for optical wireless communications. *IEEE Communications Letters*, 26(3), 600–604.
6. Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P., & Mohapatra, P. (2015). Visible light communication, networking and sensing: A survey, potential and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2047–2077.
7. Jovicic, A., Li, J., & Richardson, T. (2013). Visible light communication: opportunities, challenges and the path to market. *IEEE Communications Magazine*, 51(12), 26–32.
8. Wu, X., Safari, M., & Haas, H. (2021). Federated learning for LiFi-enabled smart healthcare. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(22), 16382–16393.
9. Sahu, S. K., & Dixit, S. (2020). A comprehensive review of LiFi technology for next generation wireless communication. *Journal of Optical Communications and Networking*, 12(9), 288–302.
10. International Telecommunication Union (2023). IMT-2030 (6G) Framework Recommendation ITU-R M.2160. Geneva: ITU Publications.

## KIBERXAVFSIZLIK FANINI O'QITISH TENDENTSIYALARI VA ZAMONAVIY TEKNOLOGIYALARI

**Musaev Anvar Isakovich**

UMFT Kommunikatsiya va axborot texnologiyalari kafedrasida dotsenti, PhD,  
anvarmuso73@gmail.com

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada kiberxavfsizlik ta'limida sun'iy intellektni qo'llashning asosiy yo'nalishlari tahlil qilingan. Adaptive learning, intellektual repetitorlik tizimlari, avtomatlashtirilgan baholash va simulyatsiya usullari ko'rib chiqilib, bakalavr dasturlarini takomillashtirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

**Kalit so'zlar:** adaptive learning, intellektual repetitorlik tizimlari, avtomatlashtirilgan baholash, simulyatsiya usullari.

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные направления применения искусственного интеллекта в обучении кибербезопасности. Проанализированы методы адаптивного обучения, интеллектуального наставничества, автоматизированного оценивания и симуляции угроз, а также разработаны практические рекомендации по совершенствованию программ бакалавриата.

**Ключевые слова:** методы адаптивного обучения, интеллектуального наставничества, автоматизированного оценивания, симуляции угроз.

**Abstract:** This article analyzes the key directions of applying artificial intelligence in cybersecurity education. Methods of adaptive learning, intelligent tutoring systems, automated assessment, and cyber threat simulation are examined. Based on the analysis, practical recommendations are developed for improving undergraduate educational programs.

**Keywords:** methods of adaptive learning, intelligent tutoring systems, automated assessment, cyber threat simulation.

### 1. Kirish.

Kiberxavfsizlik sohasida mutaxassislar tayyorlash bugungi kunda eng dolzarb masalalardan biriga aylangan. Raqamli iqtisodiyot rivojlanib borayotgan bir davrda, yuqori malakali kiberxavfsizlik mutaxassislariga bo'lgan talab har yili keskin oshib bormoqda. Ushbu tahlil dunyo miqyosida kuzatilayotgan eng ilg'or o'qitish metodologiyalari, texnologiyalari va tendentsiyalarini o'rganib, bakalavr dasturlarini takomillashtirish bo'yicha aniq tavsiyalar beradi.

ISC2 tashkilotining hisobotiga ko'ra, dunyo bo'ylab kiberxavfsizlik mutaxassislari taqchilligi 4 milliondan ortiq kishini tashkil etmoqda. Bu ko'rsatkich ta'lim tizimini modernizatsiya qilish zaruratini yanada oshirmoqda.

### 2. Asosiy qism.

Amaliyotga yo'naltirilgan ta'lim. Zamonaviy kiberxavfsizlik ta'limining eng muhim tendentsiyasi - nazariyadan amaliyotga o'tish masalasi hisoblanadi. Agar yetakchi universitetlar olib qaralsa ular o'z dasturlarini 60-70% amaliy mashg'ulotlar o'tkazishga ajratmoqda. Amaliy mashg'ulotlar uchun quyidagi texnologiyalar dolzarbdir:

- Capture the Flag (CTF) musobaqalari: Talabalar real hujum va mudofaa stsenariyalarini hal qiladilar;
- Cyber Range laboratoriyalari: Virtual muhitda real xurujlarni simulyatsiya qilish;
- Red Team / Blue Team mashqlari: Hujumchi va himoyachi rollarini o'ynash;
- Bug Bounty dasturlari bilan integratsiya: Talabalarni real platformalarga ulash.



Shuningdek hozirgi paytda sun'iy intellekt texnologiyalarining keng qo'llanilishi kuzatilmoqda. Kiberxavfsizlik [1] ta'limiga ham sun'iy intellekt elementlarini kiritish global trend bo'lib bormoqda. Stanford, MIT va Carnegie Mellon universitetlari ham SI-asosli kiberxavfsizlik kurslarini joriy etgan.

- SI yordamida tahdidlarni aniqlash texnologiyalari;
- Machine Learning yordamida anomal xatti-harakatlarni monitoring qilish;
- ChatGPT va LLMlarning kiberxavfsizlikdagi o'rni (ijobiy va salbiy tomonlari);
- Avtomatlashtirilgan penetratsion testlash vositalari.

Cloud va DevSecOps Ta'limini ham shu zamonaviy texnologiyalar tarkibiga kiritishimiz mumkin. Amazon AWS, Microsoft Azure va Google Cloud platformalari kiberxavfsizlik bo'yicha ixtisoslashgan sertifikatlar ta'lim standartiga aylanib bormoqda. DevSecOps [2] metodologiyasi dasturiy ta'minotni ishlab chiqish jarayoniga xavfsizlikni integratsiya qilishni o'rgatadi. Bular, Cloud Security fundamentals (AWS/Azure/GCP), Container Security (Docker, Kubernetes), CI/CD pipeline xavfsizligi va Infrastructure as Code (IaC) xavfsizlik auditlar bo'lishi mumkin.

O'qitish texnologiyalari va vositalari sifatida quyidagi virtual laboratoriya platformalarini tavsiya etiladi:

- TryHackMe o'yinlashtirish asosida interaktiv laboratoriyalar (5 million+ foydalanuvchi)
- Hack The Box professional pentesting vazifalarini tayyorlash platformasi
- OWASP WebGoat veb ilova zaifliklarini o'rganish uchun ataylab yaratilgan zaif dastur
- VulnHub real zaiflik stsenariylarini o'z ichiga olgan virtual mashinalar to'plami
- Cybrary 1000+ kiberxavfsizlik kurslari va virtual laboratoriyalari.
- 

1-jadval. Nazariy va Amaliyotni Bog'lash Jadvali

Mavzu (nazariya)	TryHackMe moduli	HTB mashinasi
Linux asoslari	"Linux Fundamentals"	Bashed, Shocker
Tarmoq skanerlash	"Nmap" room	Legacy, Blue
Veb zaifliklar (OWASP)	"OWASP Top 10"	Nibbles, Jerry
Active Directory	"Active Directory Basics"	Forest, Resolute
Privilege Escalation	"Linux PrivEsc"	Beep, Cronos

Sun'iy intellekt asosidagi adaptive ta'lim: Har bir talabanning darajasiga mos materiallar taqdim etish, Intellektual repetitorlik tizimlari: Talabalarga real vaqt rejimida yordam berish, avtomatlashgan baholash: SI yordamida kod va yechimlarni baholash, Tahliliy bashoratlash: Talabanning o'zlashtirish darajasini oldindan aniqlash texnologiyalari katta ahamiyatga egadir.

O'yinlashtirish elementlari talabalarining ta'limda ishtirok va motivatsiyani 48% ga oshiradi (Gartner 2024). Bu esa ayniqsa kiberxavfsizlik sohasida ayniqsa samarali:

- CTF musobaqalari va natijalar reytingini e'lon qilib borish tizimi;
- Yutuqlarni rag'batlantirish va sertifikatlar tizimi;
- Qiziqarli syujetga asoslangan scenariylar (masalan: bankni kiberhujumdan himoya qilish);
- Ko'p o'yinchili kiber urush o'yinlari.

2-jadval. TryHackMe va Hack The Box farqlari

Mezon	TryHackMe	Hack The Box
-------	-----------	--------------

Daraja	Boshlang'ich → O'rta	O'rta → Yuqori
Tuzilma	Yo'naltirilgan (guided)	Mustaqil (open-ended)
Nazariy qism	Har modulda tushuntirish bor	Minimal, o'zi topishi kerak
O'quv uchun moslik	1-2 kurs uchun ideal	3-4 kurs uchun ideal
Feedback	Avtomatik hint tizimi	Writeup'lar orqali

Jamoaviy ishlash imkoniyatiga ega va cloud (bulut) asosida ishlovch muhitlar ham takomillashgan texnologiya hisoblanadi, bunda GitHub Classroom: Loyiha asosida o'qitish va version control, AWS Academy / Azure for Education: Haqiqiy cloud muhitida ishlash, Google Workspace for Education: Hamkorlikda ishlab chiqish, Discord/Slack hamjamiyatlari: Peer-to-peer o'rganish jamoaviy ishlashda muhimdir.

Mavjud tizimning tahlili va muammolari o'rganilib chiqilganda O'zbekiston kontekstida kuzatilayotgan muammolar sifatida quyidagilarni kuzatishimiz mumkin:

- Laboratoriya infratuzilmasining yetarli emasligi real amaliyot uchun yetarli resurs yo'qligi;
- Sanoat bilan bog'liqlikning zaifligi, korporativ sektordan tajribali mutaxassislarining dars jarayoniga jalb etilmaganligi, ularda dars berishga sharoit ta'minlanmaganligi;
- O'quv materiallarining eskirganligi, mavjud darsliklar texnologiya rivojidan 3-5 yil orqada qolmoqda va bu ta'lim sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda;
- Sertifikatlash tizimining etishmasligi, ya'ni CISSP, CEH, CompTIA kabi xalqaro sertifikatlar tizimining ta'lim tizimiga integratsiyasining kamligi;
- Ingliz tili to'sig'ining mavjudligi, ko'plab resurslar va standartlar ingliz tilida chop etilgan;
- CTF madaniyatining rivojlanmaganligi sababli talabalar musobaqa tajribasiga ega emasligi.

Kiberxavfsizlik bo'yicha kuchli tomonlar ham kuzatiladi:

- Matematika va informatika bo'yicha kuchli bolgan O'zbekiston talabalarining analitik qobiliyati ham yuqoriligi
- Yosh va harakatchan talaba kontingenti o'rganishga ishtiyoqli hisoblanadi
- Hukumat tomonidan qo'llab-quvvatlanishi - IT Park, Digital Uzbekistan 2030 strategiyasi
- Mintaqaviy talab Markaziy Osiyo bozorida kiberxavfsizlik mutaxassislariga talab o'smoqda

Kiberxavfsizlik bo'yicha mashg'ulotlarni sifatli o'tkazish va zamonaviy texnologiyalarga asoslash uchun quyidagilar taklif etiladi:

TryHackMe yoki Hack The Box platformalarini o'quv jarayoniga integratsiya qilib borish natijasida yar semestrda kamida bitta CTF musobaqasi tashkil etish yoki mavjud CTF'larga qatnashishni rag'batlantiradi. GitHub Classroom orqali loyiha asosida baholash tizimini joriy etib borish mumkindir.

Virtual Cyber Range muhitini VBox dasturi asosida yaratish, amaliyot mutaxassislarini ma'ruzachi sifatida jalb qilish (IT Park, Uzinfocom, banklardagi bo'linma mutahassislarini), CompTIA Security+, CEH kabi xalqaro sertifikatlarni dasturga integratsiya qilish, SI va Machine Learning moduli qo'shish kiberxavfsizlikda SI qo'llash, OWASP metodologiyasi asosida veb xavfsizlik kursi ishlab chiqish va unga talabalarni aktiv jalb qilish mumkin.



Ta'lim tizimida sun'iy intellekt har bir talabaning bilim darajasini tahlil qilib, unga mos materiallar taqdim etadi [3]. Masalan, talaba tarmoq xavfsizligini yaxshi bilsa, tizim avtomatik ravishda kriptografiya bo'yicha qiyinroq topshiriqlar beradi. Coursera, Cybrary, TryHackMe platformalari aynan shu texnologiyadan foydalanadi. SI-asosli repetitor tizimi talaba xato qilganda darhol tushuntirish beradi — o'qituvchi bo'lmasa ham. Masalan, talaba SQL injection topshirig'ini noto'g'ri bajarsa, tizim qayerda xato qilganini ko'rsatadi va yo'naltiradi. SI real kiberhujum stsenariylarini avtomatik yaratadi. Har safar yangi, noyob stsenariy — talaba bir xil topshiriqni yodlamaydi, balki har doim yangi muammoni hal qiladi. SANS NetWars va IBM QRadar o'quv muhiti shu usulda ishlaydi. Talabaning yozgan kodi, penetratsion test hisoboti yoki CTF yechimini SI avtomatik baholaydi va batafsil feedback beradi. Bu o'qituvchining yukini kamaytiradi va talaba darhol natija oladi. Talabalar SI-asosli SIEM tizimlari bilan ishlashni o'rganadilar — real log fayllarni tahlil qilish, anomalialarni aniqlash. Bu ayniqsa SOC (Security Operations Center) mutaxassislarini tayyorlashda muhim.

ChatGPT va boshqa LLMlar talabalar uchun foydali bo'lishi bilan birga, topshiriqlarni tayyor qildirib olish xavfi ham mavjud. Shu sababli baholash tizimini amaliy demonstratsiya va og'zaki himoya asosiga qurilishi tavsiya etiladi

### 3.Xulosa va amaliy tavsiyalar.

Kiberxavfsizlik ta'limini zamonaviylashtirishda asosiy uchta tamoyilga amal qilish kerak: amaliyot ustuvorligi, sanoat bilan integratsiya (industry-aligned), va doimiy yangilanib borish ushbu sohaning dolzarbligini ta'minlagan xolda ta'lim sifatini belgilaydi.

Dunyo miqyosidagi tendentsiyalar shuni ko'rsatmoqdaki, eng samarali dasturlar faqat texnik bilimlarni emas, balki muammo hal qilish, jamoa ishi va etik xakerlik madaniyatini ham shakllantiradigan dasturlardir. O'zbekistondagi bakalavr dasturlarida ushbu yondashuvni qo'llash orqali raqobatbardosh, xalqaro talablarga javob beradigan kiberxavfsizlik mutaxassislarini tayyorlash mumkin. Ushbu mutahassisliklar uchun quyidagi o'quv dasturi tuzilmasi tavsiya etiladi.

#### O'QUV DASTURI TUZILMASI

Fan nomi	Asosiy texnologiyalar	Amaliyot ulushi	Sertifikat yo'nalishi
Kiberxavfsizlik asoslari	TryHackMe, Linux CLI, Networking fundamentals	50%	CompTIA IT Fundamentals
Tarmoq xavfsizligi va Kriptografiya	Wireshark, Nmap, OpenSSL, Hack The Box	55%	CompTIA Security+
Penetratsion test va Mudofaa	Metasploit, Burp Suite, SIEM, SOC operatsiyalari	65%	CEH / eJPT
Cloud xavfsizligi va SI/ML	AWS Security, Azure Sentinel, ML anomaly detection	70%	AWS Security Specialty

### BAHOLASH TIZIMINI MODERNIZATSIYA QILISH

An'anaviy imtihon tizimi kiberxavfsizlik fanining amaliy xarakterini to'liq baholay olmaydi. Zamonaviy baholash yondashuvlari:

Baholash turi	Ulushi (%)	Tavsif
CTF musobaqalari va wargames	25%	Har semestrda 2-3 CTF, portfolio sifatida hisoblash
Laboratoriya ishlari va hisobotlar	30%	Har dars bo'yicha amaliy topshiriq va texnik hisobot
Kurs loyihasi (jamo'a ishi)	20%	Real tashkilot uchun xavfsizlik auditi yoki VAPT
Yakuniy imtihon (nazariy+amaliy)	20%	Nazariy test (50%) + amaliy scenariy (50%)
Tekshirish va taqdimotlar	5%	Tengdoshlar baholashi va og'zaki himoya

Ushbu tahlilning asosiy tavsiyasi: Amaliy mashg'ulotlarga TryHackMe/HackTheBox platformalarini integratsiya qilish, CTF madaniyatini joriy etish, va sanoat hamkorligini o'rnatish, bu uch yo'nalish o'quv jarayoni sifatini oshirishga xizmat qiladi.

#### 4. Adabiyotlar

1. ISO/IEC 27000 Information technology. Security techniques. Information security management systems. Overview and vocabulary.
2. Stallings, W. (2022). Cryptography and Network Security: Principles and Practice (8th ed.). Pearson.
3. Kim, D., & Solomon, M. G. (2021). Fundamentals of Information Systems Security (4th ed.). Jones & Bartlett Learning.



## DIELEKTRIK SARALASH JARAYONINING ENERGETIK PARAMETRLARINI EKSPERIMENTAL ASOSLASH

**Mannobboyev Sh.**

Andijon davlat texnika instituti katta o'qituvchisi  
shuxratbekmannobboyev@gmail.com

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada paxta chigitlarini dielektrik separatsiya usulida saralash jarayonining energetik va konstruktiv parametrlarini asoslash bo'yicha eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan. Ishlab chiqilgan fizik model — baraban tipidagi dielektrik separator asosida chigitlarning saralash samaradorligiga elektr maydon kuchlanganligi, chastota, elektrodlar oralig'i va chigit namligining ta'siri o'rganildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, saralash samaradorligi 87,5% ga yetadigan optimal rejimlar aniqlangan: kuchlanish 10 kV, chastota 500 Hz, elektrodlar oralig'i 15 mm, chigit namligi 8-10%. Solishtirma energiya sarfi 1,8 kVt·soat/t ni tashkil etdi. Elektrodlar oralig'ining 10 mm dan 25 mm gacha oshirilishi maydon kuchlanganligini pasaytirib, saralash samaradorligini 92% dan 68% gacha kamaytirishi aniqlandi. Chastotaning 50 Hz dan 1000 Hz gacha oshirilishi dielektrik yo'qotishlar hisobiga energiya sarfini 2,1 baravarga oshirgan, biroq saralash samaradorligi 400-600 Hz oralig'ida maksimal qiymatga erishgan. Tadqiqot natijalari dielektrik separatorlarni loyihalashda optimal energetik va konstruktiv parametrlarni tanlash uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** dielektrik separatsiya, paxta chigiti, saralash samaradorligi, elektr maydoni, energiya sarfi, elektrodlar oralig'i, chastota.

**Аннотация:** В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию энергетических и конструктивных параметров процесса сортировки семян хлопчатника методом диэлектрической сепарации. На основе разработанной физической модели — диэлектрического сепаратора барабанного типа — изучено влияние напряжённости электрического поля, частоты, межэлектродного расстояния и влажности семян на эффективность сортировки. Согласно результатам исследований, определены оптимальные режимы, при которых эффективность сортировки достигает 87,5%: напряжение — 10 кВ, частота — 500 Гц, расстояние между электродами — 15 мм, влажность семян — 8–10%. Удельное энергопотребление составило 1,8 кВт·ч/т. Установлено, что увеличение расстояния между электродами с 10 мм до 25 мм снижает напряжённость электрического поля и уменьшает эффективность сортировки с 92% до 68%. Повышение частоты с 50 Гц до 1000 Гц увеличивает энергопотребление в 2,1 раза вследствие диэлектрических потерь, при этом максимальная эффективность сортировки достигается в диапазоне 400–600 Гц. Полученные результаты могут служить научной основой для выбора оптимальных энергетических и конструктивных параметров при проектировании диэлектрических сепараторов.

**Ключевые слова:** диэлектрическая сепарация, семена хлопчатника, эффективность сортировки, электрическое поле, энергопотребление, межэлектродное расстояние, частота.

**Abstract:** This paper presents the results of experimental studies aimed at substantiating the energy and design parameters of cottonseed sorting using dielectric separation. Based on a developed physical model—a drum-type dielectric separator—the influence of electric field strength, frequency, electrode gap, and seed moisture content on sorting efficiency was investigated. According to the research results, optimal operating conditions were determined under which the sorting efficiency reaches 87.5%: voltage — 10 kV, frequency — 500 Hz, electrode gap — 15 mm, and seed moisture content — 8–10%. The specific energy consumption

was 1.8 kWh/t. It was found that increasing the electrode gap from 10 mm to 25 mm reduces the electric field strength and decreases sorting efficiency from 92% to 68%. Increasing the frequency from 50 Hz to 1000 Hz raises energy consumption by 2.1 times due to dielectric losses, while the maximum sorting efficiency is achieved in the frequency range of 400–600 Hz. The obtained results can serve as a scientific basis for selecting optimal energy and design parameters in the development of dielectric separators.

**Keywords:** dielectric separation, cottonseed, sorting efficiency, electric field, energy consumption, electrode gap, frequency.

## 1. Kirish

Paxta tozalash sanoatida chigitlarni sifat ko'rsatkichlari (unuvchanlik, kalibr, tozalik) bo'yicha saralash urug'lik materialining qiymatini va keyingi texnologik jarayonlar samaradorligini belgilovchi asosiy operatsiyalardan biridir. An'anaviy mexanik saralash usullari — elaklar, havo separatsiyasi va gravitatsion usullar — chigitlarni ularning dielektrik xossalari qarang ajratish imkonini bermaydi. Bu esa urug'lik tarkibida elektr xossalari bo'yicha farqlanuvchi (namligi yuqori, kasallik bilan zararlangan, mexanik shikastlangan) chigitlarning saqlanib qolishiga olib keladi. Dielektrik separatsiya usuli chigitlarning dielektrik singdiruvchanligi ( $\epsilon$ ) va elektr o'tkazuvchanligidagi ( $\sigma$ ) farqlarga asoslangan bo'lib, bu usul an'anaviy usullarga nisbatan yuqori aniqlik va selektivlikka ega.

Dielektrik separatorlarning ishlash prinsipi o'zgaruvchan elektr maydonida turli dielektrik xususiyatlarga ega bo'lgan materiallarga ta'sir etuvchi dielektroforetik kuchga asoslangan. Ushbu kuchning kattaligi maydon kuchlanganligi gradientiga ( $\nabla E^2$ ) va materialning dielektrik singdiruvchanligiga ( $\epsilon$ ) to'g'ri proporsionaldir. Shu sababli, elektr maydonining parametrlari — kuchlanish ( $U$ ), chastota ( $f$ ), elektrodlar geometriyasi va oraliq ( $d$ ) — bevosita saralash samaradorligi va energiya sarfini belgilaydi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi — ishlab chiqilgan fizik model — baraban tipidagi dielektrik separator asosida chigitlarni saralash jarayonida energetik va konstruktiv parametrlarning saralash samaradorligiga ta'sirini eksperimental o'rganish va optimal rejimlarni asoslashdan iborat. Tadqiqotda quyidagi vazifalar qo'yilgan: elektr maydon parametrlarining (kuchlanish, chastota) saralash samaradorligiga ta'sirini aniqlash; elektrodlar oraliqining optimal qiymatlarini eksperimental asoslash; chigit namligining jarayon samaradorligi va energiya sarfiga ta'sirini baholash; solishtirma energiya sarfini minimallashtiruvchi rejimlarni aniqlash.

## 2. Materiallar va usullar

Tadqiqot uchun maxsus ishlab chiqilgan baraban tipidagi dielektrik separator qurilmasi ishlatildi (1-rasm). Qurilmaning asosiy konstruktiv elementlari: aylanuvchi dielektrik baraban (diametri 300 mm, uzunligi 400 mm, materiali — tekstolit), baraban ichiga o'rnatilgan statsionar elektrod tizimi (ikkita sektorli mis elektrod, qoplama maydoni  $120^\circ$ ), chigitni bir tekis uzatuvchi vibrouzatgich, saralangan fraksiyalarni qabul qiluvchi uchta seksiya va yuqori chastotali yuqori kuchlanish manbai (0-15 kV, 0-2000 Hz).

Baraban aylanish tezligi 20-60 ayl/min oraliqida rostlanadi. Elektrodlar orasidagi masofa  $d = 10-25$  mm oraliqida o'zgartirilishi mumkin. Ishchi zonada hosil qilinadigan elektr maydon kuchlanganligi  $E = U/d$  formula bo'yicha hisoblanadi.

Tadqiqot ob'ekti sifatida "Andijon-37" navli paxta chigiti ishlatildi. Chigit partiyalari namligi 6%, 8%, 10%, 12% bo'yicha to'rt guruhga ajratildi. Har bir guruhdan 500 g namunada saralash tajribalari o'tkazildi. Saralashdan oldin chigitlar mexanik aralashmalardan tozalandi va fraksiyalarga ajratildi.

Kuchlanishning 5 kV dan 15 kV gacha bo'lgan diapazonda tanlanishi dielektrik separatsiya jarayonida maydon kuchlanganligining chigitlarga ta'sir etuvchi dielektroforetik kuchning



kattaligiga va havoning elektr mustahkamligi chegarasiga bog'liq holda optimal ish rejimini aniqlash zaruriyati bilan belgilanadi. 5 kV pastki chegara sifatida qabul qilingan, chunki bu qiymatdan past kuchlanishlarda elektrodlararo maydon kuchlanganligi  $E = U/d$  formula bo'yicha 0,33 kV/mm dan kam bo'lib ( $d=15$  mm da), dielektroforetik kuch  $Fd \propto \nabla E^2$  kvadratik bog'liqlik tufayli juda kichik qiymatga ega bo'ladi va chigitlarning dielektrik xususiyatlaridagi farqlarni ajratish uchun yetarli bo'lmaydi. 10 kV esa ilgari o'tkazilgan dastlabki tadqiqotlar va adabiyotlar tahliliga asosan potensial optimal nuqta sifatida belgilangan bo'lib, bu qiymatda maydon kuchlanganligi 0,67 kV/mm ni tashkil etadi va ko'pchilik paxta chigiti navlari uchun dielektroforetik ta'sirning yetarli darajada namoyon bo'lishini ta'minlaydi. 12 kV va 15 kV esa maydon kuchlanganligini mos ravishda 0,80 kV/mm va 1,0 kV/mm gacha oshirish imkonini beradi, bu esa dielektroforetik kuchning kvadratik ortishi hisobiga saralash samaradorligining potensial o'sishini o'rganish, shuningdek, yuqori kuchlanishlarda yuzaga keladigan korona razryadlar, mikro-parchalanishlar va dielektrik yo'qotishlarning keskin ortishi kabi salbiy hodisalarni eksperimental ravishda aniqlash imkonini yaratadi. Ushbu besh qiymatning tanlanishi, shuningdek, 5 kV dan 15 kV gacha bo'lgan oraliqni teng oraliqlarga bo'lib o'rganish emas, balki samaradorlik va energiya sarfining eng keskin o'zgarishlari kutilayotgan nuqtalarni (5 kV boshlang'ich, 7 kV o'sish boshlanishi, 10 kV potensial optimal, 12 kV korona boshlanishi, 15 kV chegara yaqini) qamrab olish maqsadiga xizmat qiladi.

Chastotaning 50 Hz dan 1500 Hz gacha bo'lgan diapazonda tanlanishi dielektrik separatsiya jarayonida materialning dielektrik relaksatsiya xususiyatlarini, dielektrik yo'qotishlarning chastotaga bog'liqligini va sanoat elektr tarmog'i chastotasidan yuqori chastotalarning saralash samaradorligiga ta'sirini kompleks o'rganish imkonini beradi. 50 Hz sanoat chastotasi sifatida tanlangan bo'lib, u ko'pgina an'anaviy elektr jihozlari bilan ishlash imkonini beradi va dielektrik separatsiyaning eng past chastotali rejimini ifodalaydi, bunda chigitlarning qutblanish jarayonlari maydon o'zgarishiga to'liq ulgurib, dielektrik singdiruvchanlik  $\epsilon$  o'zining statik qiymatiga yaqin bo'ladi. 200 Hz va 500 Hz oralig'i paxta chigiti uchun xarakterli bo'lgan dielektrik relaksatsiya chastotasi  $f_{rel} = 1/(2\pi\tau)$  atrofidagi qiymatlarni qamrab oladi, bu yerda  $\tau$  — qutblanishning relaksatsiya vaqti (odatda 0,5-1 ms oralig'ida), va bu chastotalarda dielektrik yo'qotishlar tan[ $\epsilon$ ]tan $\delta$  maksimal qiymatga erishadi, bu esa maydon energiyasining materialda issiqlik sifatida tarqalishini kuchaytiradi. 800 Hz, 1000 Hz va 1500 Hz esa relaksatsiya chastotasidan yuqori bo'lgan yuqori chastotali rejimlarni ifodalaydi, bunda qutblanish jarayonlari maydon o'zgarishiga ulgurmay qoladi, effektiv dielektrik singdiruvchanlik  $\epsilon_{eff}$  pasayadi va dielektroforetik kuchning samaradorligi kamayadi, shu bilan birga dielektrik yo'qotishlar quvvati  $P_d = 2\pi f C U^2 \tan\delta$  formula bo'yicha chastotaga to'g'ri proporsional ravishda o'sib boradi. Ushbu olti chastota qiymatining tanlanishi, shuningdek, 50 Hz dan 1500 Hz gacha bo'lgan oraliqda dielektrik yo'qotishlar va relaksatsiya hodisalarining o'zgarish qonuniyatlarini logarifmik shkala bo'yicha yetarlicha zichlikda o'rganish imkonini beradi, chunki eng keskin o'zgarishlar 50-500 Hz oralig'ida kuzatiladi.

Elektrodlar oralig'ining 10 mm dan 25 mm gacha bo'lgan diapazonda tanlanishi elektrodlar konstruksiyasining geometrik parametrlari maydon kuchlanganligi, tizim sig'imi va havoning elektr mustahkamligiga ta'sirini kompleks o'rganish, shuningdek, turli konstruktiv yechimlarning energiya samaradorligi va saralash sifatiga ta'sirini aniqlash imkonini beradi. 10 mm minimal oralig' sifatida tanlangan, chunki bu qiymatdan past oralig'larda elektrodlar orasiga chigitlarning (o'rtacha diametri 7-9 mm bo'lgan) bir qatlamli joylashishi texnologik jihatdan qiyinlashadi, shuningdek, havoning elektr mustahkamligi (quruq havo uchun taxminan 3 kV/mm) bilan chegaralangan holda maydon kuchlanganligi 1,0 kV/mm dan yuqori bo'lganda (10 mm oralig'da 10 kV kuchlanish 1,0 kV/mm ni beradi) korona razryadlar va mikro-parchalanishlar ehtimoli keskin ortadi. 15 mm oralig'i potensial optimal nuqta sifatida tanlangan, chunki bu qiymat

chigitlarning erkin harakatlanishi, maydon kuchlanganligini yetarli darajada (0,67 kV/mm) ushlab turish va tizim sig'iminining  $C = \varepsilon_0 \varepsilon_S / d$  formula bo'yicha o'rtacha qiymatda bo'lishini ta'minlaydi, bu esa dielektrik yo'qotishlarni boshqariladigan darajada saqlash imkonini beradi. 20 mm va 25 mm oralig'lari esa maydon kuchlanganligini mos ravishda 0,50 kV/mm va 0,40 kV/mm gacha pasaytirib, dielektroforetik kuchning keskin kamayishi va natijada saralash samaradorligining pasayish qonuniyatlarini o'rganish, shuningdek, katta oralig'larda tizim sig'iminining kamayishi hisobiga energiya sarfining qanchalik kamayishini aniqlash imkonini beradi. Ushbu to'rt oraliq qiymatining tanlanishi, shuningdek, sanoatda keng tarqalgan dielektrik separator konstruksiyalarida qo'llaniladigan tipik oraliq qiymatlarini (15-20 mm) qamrab olish va undan kichik (10 mm) hamda undan katta (25 mm) chegara rejimlarida jarayonning qanday o'zgarishini eksperimental tekshirish maqsadiga xizmat qiladi.

Chigit namligining 6% dan 12% gacha bo'lgan diapazonda tanlanishi paxta chigitini qayta ishlash sanoatida real uchraydigan namlik o'zgarishlarining to'liq spektrini qamrab olish va namlikning dielektrik xususiyatlarga (dielektrik singdiruvchanlik  $\varepsilon$  va dielektrik yo'qotish burchagi tangensi  $\tan \delta$ ) hamda saralash jarayonining energetik va sifat ko'rsatkichlariga ta'sirini kompleks o'rganish imkonini beradi. 6% namlik pastki chegara sifatida tanlangan, chunki bu qiymatdan past namliklarda chigitlar texnologik jihatdan mo'rt bo'lib, mexanik shikastlanishga moyil bo'ladi, shuningdek, dielektrik singdiruvchanlik  $\varepsilon$  juda past qiymatda (2,5-3,0 atrofida) bo'lib, sog'lom va zararlangan chigitlar o'rtasidagi dielektrik xususiyatlar farqi minimal darajada bo'ladi. 8% va 10% namlik oralig'i paxta chigitini saqlash va qayta ishlash uchun optimal hisoblanadigan namlik diapazoniga to'g'ri keladi, bu oraliqda dielektrik singdiruvchanlik  $\varepsilon$  3,5-4,8 oralig'ida bo'lib, dielektrik yo'qotish burchagi tangensi  $\tan \delta$  0,045 – 0,082 atrofida o'zgaradi, bu esa yetarli darajada dielektroforetik ta'sirni ta'minlash bilan birga dielektrik yo'qotishlarni boshqariladigan darajada ushlab turish imkonini beradi. 12% namlik esa yuqori chegara sifatida tanlangan, chunki bu qiymatdan yuqori namliklarda chigitlarning elektr o'tkazuvchanligi keskin ortadi, elektrodlar orasida qisqa tutashuvga yaqin holat yuzaga keladi, dielektrik yo'qotish burchagi tangensi  $\tan \delta$  0,135 gacha ko'tariladi va dielektrik yo'qotishlar quvvati  $P_d = 2\pi f C U^2 \tan \delta$  formula bo'yicha 2-3 baravarga oshadi, shuningdek, maydonning chigit qatlami bo'ylab notekis taqsimlanishi saralash samaradorligining pasayishiga olib keladi. Ushbu to'rt namlik qiymatining tanlanishi, shuningdek, namlikning 6% dan 12% gacha o'zgarishida dielektrik xususiyatlarning o'zgarishini yetarlicha aniqlik bilan o'rganish imkonini beradi, chunki eng keskin o'zgarishlar 8-12% oralig'ida kuzatiladi.

Baraban aylanish tezligining 40 ayl/min da doimiy saqlanishi dastlabki optimallashtirish tadqiqotlari natijasida aniqlangan bo'lib, bu tezlikda materialning elektrodlar bilan o'zaro ta'sir vaqti, unumdorlik va saralash samaradorligi o'rtasida eng maqbul muvozanat ta'minlanadi. Baraban aylanish tezligi bevosita chigitlarning elektr maydonida bo'lish vaqtini belgilaydi — tezlik juda yuqori bo'lganda (60 ayl/min dan yuqori) chigitlar elektrodlar zonasida yetarlicha vaqt bo'lmaydi va dielektroforetik kuch ta'sirida traektoriyasini o'zgartirishga ulgurmay, natijada saralash samaradorligi keskin pasayadi. Tezlik juda past bo'lganda (20 ayl/min dan past) esa materialning maydonda turish vaqti ortadi, bu esa saralash aniqligini oshirishi mumkin, biroq bir vaqtning o'zida qurilmaning soatlik unumdorligi kamayadi va solishtirma energiya sarfi  $W/s$  ortadi, chunki bir xil miqdordagi materialni qayta ishlash uchun ko'proq vaqt va shunga mos ravishda ko'proq energiya sarflanadi. 40 ayl/min tezlikda chigitlarning elektrodlar zonasida o'rtacha turish vaqti 1,5-2,0 sekundni tashkil etadi, bu paxta chigiti uchun dielektrik qutblanish jarayonlarining to'liq amalga oshishi va dielektroforetik kuch ta'sirida chigitlarning baraban yuzasidan ajralib, kerakli fraksiyaga yo'naltirilishi uchun yetarli vaqt hisoblanadi. Ushbu tezlikni doimiy saqlash orqali boshqa o'zgaruvchan parametrlar (kuchlanish, chastota, elektrodlar oralig'i, chigit namligi) ning saralash samaradorligi va energiya sarfiga ta'sirini sof holda o'rganish



imkoniyati yaratiladi, chunki aylanish tezligining o'zgarishi natijasida yuzaga keladigan qo'shimcha o'zgaruvchanlik omili tajriba natijalariga kiritilmaydi. Dastlabki optimallashtirish tadqiqotlarida 30, 40, 50 ayl/min tezliklar sinovdan o'tkazilgan bo'lib, 40 ayl/min da saralash samaradorligi (87,5%) va unumdorlik (500 kg/soat) o'rtasidagi nisbat eng yuqori, solishtirma energiya sarfi esa eng past (1,8 kVt·soat/t) qiymatlarda qayd etilgan, bu esa ushbu tezlikni barcha keyingi tajribalar uchun asosiy doimiy parametr sifatida belgilashga asos bo'lgan.

Har bir tajriba 3 marta takrorlandi, natijalarning o'rtacha qiymatlari hisobga olindi.

Saralash samaradorligi  $\eta$  (%) quyidagi formula bo'yicha aniqlandi:

$$\eta = \frac{m_t}{m_u} \cdot 100\%$$

bu yerda:

- $m_t$  — to'g'ri ajratilgan (kerakli fraksiyaga tushgan) chigit massasi (kg);
- $m_u$  — umumiy chigit massasi (kg).

Elektr quvvat sarfi  $P$  (Vt) yuqori chastotali konvertorning kirish qismiga ulangan analizator (HIOKI PW3390) yordamida o'lchandi. Solishtirma energiya sarfi  $W_s$  (kVt·soat/kg) quyidagi formula bo'yicha hisoblandi:

$$W_s = \frac{P \cdot t}{m}$$

bu yerda  $t$  — tajriba vaqti (soat),  $m$  — qayta ishlangan chigit massasi (kg).

Dielektrik yo'qotishlar quvvati  $P_d$  (Vt) quyidagi formula bo'yicha hisoblandi:

$$P_d = 2\pi f C U^2 \tan \delta$$

bu yerda  $C$  — elektrod-chigit tizimining ekvivalent sig'imi (F),  $\tan \delta$  — chigit qatlamining dielektrik yo'qotish burchagi tangensi (E4980A LCR-metr yordamida o'lchandi).

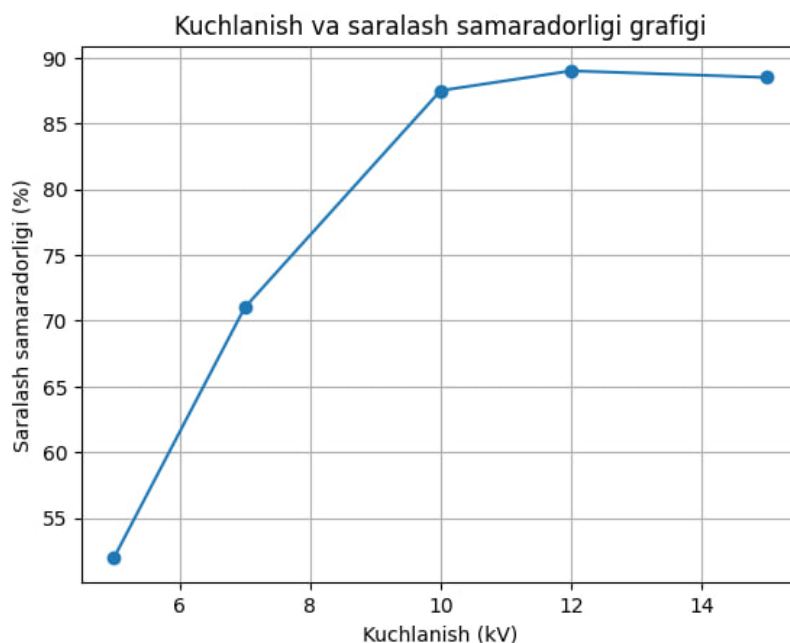
Olingan eksperimental ma'lumotlar Microsoft Excel va OriginPro dasturlari yordamida statistik qayta ishlandi. Natijalarning ishonchliligi Student mezoni bo'yicha baholandi ( $p \leq 0,05$ ). Grafiklar regressiya tahlili asosida qurildi.

### 3. Natijalar

1-rasmda kuchlanishning saralash samaradorligiga ta'siri ( $f = 500$  Hz,  $d = 15$  mm,  $W = 8\%$  da) keltirilgan.

Kuchlanishning 5 kV dan 10 kV gacha oshirilishi saralash samaradorligining 52% dan 87,5% gacha, ya'ni 35,5 foiz punktga o'sishiga olib kelgan bo'lib, bu hodisaning fizik asosini dielektroforetik kuchning maydon kuchlanganligiga kvadratik bog'liqligi tashkil etadi.

$E = U/d$  formula bo'yicha 0,33 kV/mm dan 0,67 kV/mm gacha, ya'ni ikki baravar ortadi. Dielektroforetik kuch esa maydon kuchlanganligi kvadratiga proporsional bo'lganligi uchun taxminan to'rt baravar oshadi, bu esa turli dielektrik xususiyatlarga ega bo'lgan chigitlar — masalan, sog'lom va kasallik bilan zararlangan, namligi yuqori va past bo'lgan chigitlar — o'rtasidagi ajratuvchi kuchlar farqini sezilarli darajada kengaytiradi. Natijada, chigitlarning elektr maydoni ta'sirida traektoriyalari keskin farqlanadi va ularni fraksiyalarga aniq ajratish imkoniyati oshadi. Bu bosqichda maydon kuchlanganligi hali havoning elektr mustahkamligi chegarasidan ancha past bo'lganligi sababli, energiya yo'qotishlari asosan foydali dielektroforetik ta'sirga sarflanadi va samaradorlikning o'sish sur'ati yuqori bo'ladi. Ushbu kvadratik bog'liqlik dielektrik separatsiya nazariyasining asosiy qonuniyatlaridan biri bo'lib, ko'plab tadqiqotchilar (Pohl, 1978; Jones, 2005) tomonidan eksperimental ravishda tasdiqlangan va sanoat qurilmalarini loyihalashda maydon kuchlanganligini optimallashtirishning nazariy asosini tashkil etadi.



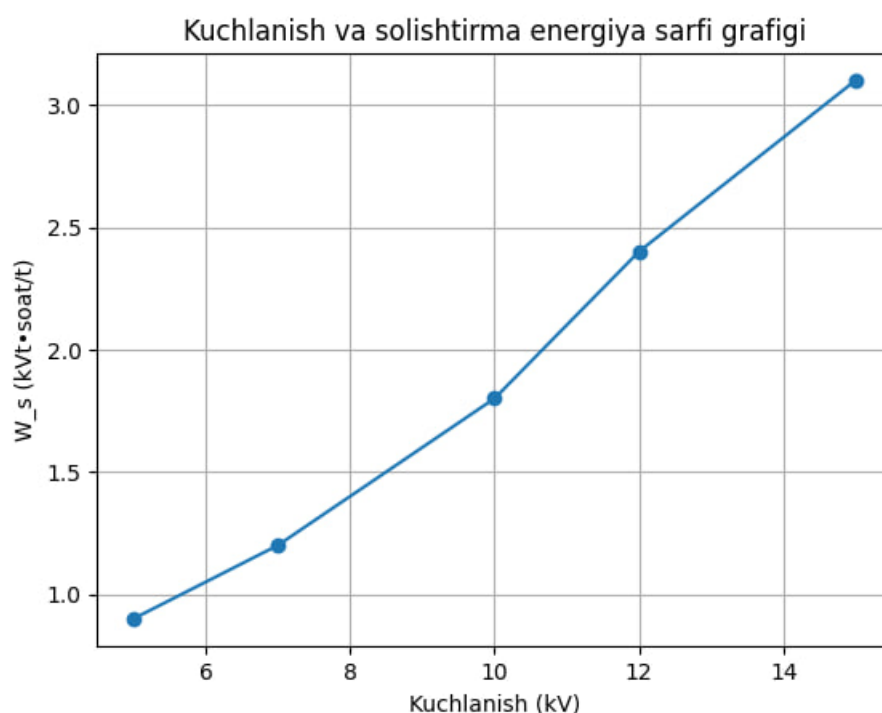
1-rasm. Saralash samaradorligining kuchlanishga bog‘liqligi

Kuchlanish 10 kV dan 12 kV gacha oshirilganda saralash samaradorligi 87,5% dan 89% ga, ya’ni atigi 1,5 foiz punktga o‘sgan, 15 kV da esa 88,5% gacha biroz pasaygan bo‘lib, bu hodisa elektr maydonining havoning elektr mustahkamligi bilan cheklanishi va mikro-parchalanish (korona razryad) hodisalarining yuzaga kelishi bilan izohlanadi. Elektrodlar oralig‘i 15 mm bo‘lganda, 10 kV kuchlanish maydon kuchlanganligi 0,67 kV/mm ni tashkil etadi, 12 kV da 0,80 kV/mm, 15 kV da esa 1,0 kV/mm ga yetadi. Quruq havo uchun elektr mustahkamlik chegarasi normal atmosfera sharoitida taxminan 3 kV/mm bo‘lsada, elektrodlar sirtidagi mikro-notekisliklar, chigit qatlamining notekis joylashishi va havo namligi ta’sirida lokal maydon kuchlanganligi o‘rtacha qiymatdan sezilarli darajada yuqori bo‘lgan nuqtalar vujudga keladi. 0,8-1,0 kV/mm oralig‘ida ushbu lokal nuqtalarda korona razryadlar — ya’ni havoning qisman ionlanishi va mikro-parchalanishi — boshlanadi. Korona razryadlar paytida elektr maydon energiyasining bir qismi foydali dielektroforetik ta’sirga emas, balki ionlanish jarayonlariga, issiqlik ajralishiga va ultrabinafsha nurlanishiga sarflanadi, bu esa maydonning dielektroforetik samaradorligini pasaytiradi. Bundan tashqari, korona razryadlar elektrodlar yuzasida lokal zaryadlar to‘planishiga olib keladi, bu esa maydon konfiguratsiyasini o‘zgartirib, dielektroforetik kuchning fazoviy taqsimotini notekislashtiradi va saralash aniqligiga salbiy ta’sir qiladi. Shuningdek, mikro-parchalanishlar natijasida hosil bo‘lgan ozon va azot oksidlari chigitlarning sirt qatlamiga ta’sir etib, ularning dielektrik xususiyatlarini vaqtinchalik o‘zgartirishi mumkin, bu esa 15 kV da samaradorlikning 88,5% gacha pasayishiga qo‘shimcha sabab bo‘ladi. Ushbu hodisalar dielektrik separatorlarni loyihalashda maydon kuchlanganligini havoning elektr mustahkamligi chegarasidan yetarlicha past (zaxira koeffitsiyenti 1,5-2,0) tanlash zarurligini ko‘rsatadi.

Kuchlanishning 10 kV dan yuqori qiymatlarida saralash samaradorligi o‘shirishning keskin sekinlashishi va energiya sarfining kvadratik o‘sishi o‘rtasidagi qarama-qarshilik dielektrik separatsiya jarayonida optimal kuchlanishni tanlash mezonini sifatida samaradorlik va energiya samaradorligi o‘rtasidagi kompromissni belgilaydi.  $\tan\delta$  — dielektrik yo‘qotish burchagi tangensi. 10 kV da 1,8 kVt·soat/t bo‘lgan solishtirma energiya sarfi 12 kV da 2,4 kVt·soat/t ga (33% ga), 15 kV da esa 3,1 kVt·soat/t ga (72% ga) oshadi, biroq samaradorlikning o‘sishi 10 kV dan keyin atigi 1,5 foiz punkttni tashkil etadi. Bu nisbat shuni ko‘rsatadiki, 10 kV dan yuqori kuchlanishlarda qo‘shimcha energiya sarfi foydali saralash samaradorligiga emas, balki asosan dielektrik



yo‘qotishlar, korona razryadlar va elektr maydonining issiqlik sifatida tarqalishiga sarflanadi. Texnik-iqtisodiy nuqtai nazardan, energiya sarfining bunday keskin o‘shishini samaradorlikning marjinal o‘shishi bilan kompensatsiya qilish mumkin emas, chunki sanoat sharoitida energiya narxi va qurilmaning ekspluatatsion xarajatlari ustuvor ahamiyatga ega. Bundan tashqari, yuqori kuchlanishlar elektr ta‘minot tizimiga qo‘yiladigan talablarni oshiradi — yuqori kuchlanishli transformatorlar, kabellar va izolyatsiya materiallari narxi keskin ortadi, shuningdek, xavfsizlik texnikasi talablari kuchayadi. Shuning uchun, 10 kV optimal kuchlanish sifatida belgilanadi, chunki ushbu qiymatda maksimal foydali samaradorlikka erishiladi va undan keyingi kuchlanish oshishi texnik-iqtisodiy jihatdan asossiz bo‘lib qoladi. Ushbu optimal nuqta dielektrik separatorlarni loyihalashda “energiya samaradorligi — saralash sifati” mezonini bo‘yicha optimallashtirishning tipik yechimi sifatida qaralishi mumkin.



2-rasm. Solishtirma energiya sarfining kuchlanishga bog‘liqligi

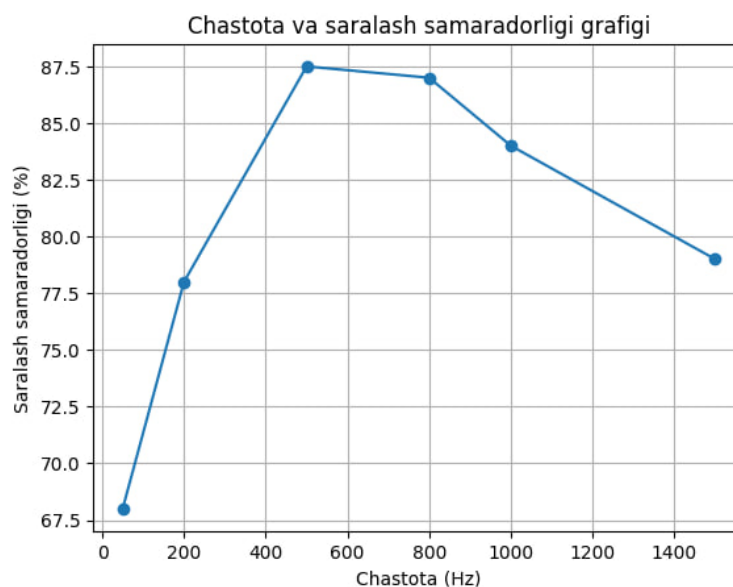
Solishtirma energiya sarfi  $W_s$  ning kuchlanishga bog‘liqligi 5 kV da 0,9 kVt·soat/t dan 15 kV da 3,1 kVt·soat/t gacha bo‘lgan qiymatlarni qamrab olgan bo‘lib, bu bog‘liqlik qonuniyatga deyarli to‘liq mos keladi, chunki 5 kV dan 10 kV ga o‘tganda kuchlanish 2 baravar ortib, energiya sarfi 0,9 dan 1,8 kVt·soat/t ga — 2 baravar, 5 kV dan 15 kV ga o‘tganda esa kuchlanish 3 baravar ortib, energiya sarfi 0,9 dan 3,1 kVt·soat/t ga — taxminan 3,4 baravar oshgan. Ushbu kvadratik bog‘liqlikning fizik asosini dielektrik yo‘qotishlar quvvati formulasi  $P_d = 2\pi f C U^2 \tan\delta$  tashkil etadi, bu yerda  $f$  — elektr maydoni chastotasi,  $C$  — elektrod-chigit tizimining ekvivalent sig‘imi,  $\tan\delta$  — chigit qatlamining dielektrik yo‘qotish burchagi tangensi. Ushbu formulada kuchlanish  $U$  kvadratik shaklda ishtirok etadi, chunki elektr maydonida saqlanadigan energiya  $W_e$  ga teng bo‘lib, har bir davrda materialda ajralib chiqadigan issiqlik energiyasi ushbu saqlanayotgan energiyaning bir qismi sifatida dielektrik yo‘qotish burchagi tangensiga proporsionaldir. Elektrodlar oralig‘i  $d$  o‘zgarmas bo‘lganda, kuchlanish ortishi bilan maydon kuchlanganligi  $E = U/d$  chiziqli ortadi, biroq maydon kuchlanganligi ortishi bilan chigit materialining dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon$  va dielektrik yo‘qotish burchagi tangensi  $\tan\delta$  ham o‘zgarishi mumkin — yuqori maydon kuchlanganliklarida qutblanish jarayonlarining to‘yinishi va

ionlashuv hodisalari hisobiga bu parametrlar ortadi, bu esa kvadratik bog‘liqlikning koeffitsiyentini yanada oshiradi. Shuningdek, kuchlanish ortishi bilan elektrodlararo fazoda mikro-parchalanish (korona) hodisalari boshlanganda, qo‘shimcha faol quvvat sarfi yuzaga keladi, bu esa 12-15 kV oralig‘ida  $Ws$  ning kvadratik bog‘liqlikdan biroz yuqoriroq o‘shishiga sabab bo‘ladi. Ushbu kvadratik bog‘liqlik dielektrik separatorlarning energetik xarakteristikasini belgilovchi fundamental qonuniyat bo‘lib, u qurilmaning ish rejimini tanlashda energiya sarfini oldindan hisoblash imkonini beradi.

5 kV dan 10 kV gacha bo‘lgan kuchlanish oralig‘ida solishtirma energiya sarfi 0,9 kVt·soat/t dan 1,8 kVt·soat/t gacha oshgan bo‘lsa, bu oraliqda saralash samaradorligi 52% dan 87,5% gacha — ya‘ni 35,5 foiz punktga oshgan bo‘lib, energiya sarfining har bir birlik o‘shishiga to‘g‘ri keladigan samaradorlik o‘shishi (energetik samaradorlik mezon) eng yuqori qiymatga erishadi. 10 kV dan 12 kV ga o‘tganda esa energiya sarfi 1,8 kVt·soat/t dan 2,4 kVt·soat/t ga — 33% ga oshgan, biroq saralash samaradorligi atigi 87,5% dan 89% ga — 1,5 foiz punktga oshgan, ya‘ni energiya sarfining o‘shish sur‘ati samaradorlik o‘shish sur‘atidan taxminan 22 baravar yuqori bo‘lgan. 12 kV dan 15 kV ga o‘tganda esa energiya sarfi 2,4 kVt·soat/t dan 3,1 kVt·soat/t ga — 29% ga oshgan, samaradorlik esa 89% dan 88,5% ga pasaygan, bu esa energiya sarfining oshishi bilan birga foydali natijaning emas, balki uning kamayishi kuzatilganligini ko‘rsatadi. Ushbu nisbatlar shuni ko‘rsatadiki, dielektrik separatsiya jarayonida energiya sarfi va samaradorlik o‘rtasidagi bog‘liqlik chiziqli emas, balki ma‘lum bir optimal nuqtadan (10 kV) keyin energiya sarfining marjinal o‘shishi samaradorlikning marjinal o‘shishidan keskin yuqori bo‘ladi, bu esa iqtisodiy nuqtai nazardan energiya resurslaridan samarasiz foydalanishni anglatadi. Optimal kuchlanishni tanlashda texnik-iqtisodiy mezon sifatida “marjinal samaradorlikning marjinal energiya sarfiga nisbati”  $\Delta\eta/\Delta Ws$  mezonidan foydalaniladi, bu nisbat 5-10 kV oralig‘ida 0,39 foiz/(kVt·soat/t) ni, 10-12 kV oralig‘ida esa 0,05 foiz/(kVt·soat/t) ni tashkil etgan — ya‘ni 7,8 baravar past.

10 kV kuchlanishning optimal rejim sifatida tanlanishi energiya sarfi va saralash samaradorligi o‘rtasidagi kompromissning texnik-iqtisodiy jihatdan eng maqbul nuqtasini ifodalaydi, chunki ushbu nuqtada energiya sarfi hali nisbatan past (1,8 kVt·soat/t) bo‘lgan holda saralash samaradorligi maksimalga yaqin (87,5%) qiymatga erishilgan bo‘ladi. 10 kV dan yuqori kuchlanishlarda, masalan 12 kV da, energiya sarfi 33% ga oshgan holda samaradorlikning atigi 1,5% ga oshishi, 15 kV da esa energiya sarfi 72% ga oshgan holda samaradorlikning pasayishi kuzatilgan bo‘lib, bu kuchlanishlarning qo‘llanilishi sanoat miqyosida ishlab chiqarishda iqtisodiy jihatdan asossiz hisoblanadi. Solishtirma energiya sarfining 1,8 kVt·soat/t dan 2,4 kVt·soat/t ga oshishi, agar qurilma yiliga 2000 soat (bir smenali ish) va soatiga 500 kg unumdorlik bilan ishlasa, yillik qo‘shimcha energiya sarfi 600 kVt·soat ni tashkil etadi, bu esa elektr energiyasi narxiga ko‘ra (o‘rtacha 1000 so‘m/kVt·soat) yiliga 600 000 so‘m qo‘shimcha xarajatga olib keladi, biroq samaradorlikning atigi 1,5% ga oshishi mahsulot sifatining bunday xarajatni qoplash darajasida oshishini kafolatlamaydi. Bundan tashqari, yuqori kuchlanishlarda (12-15 kV) elektr ta‘minot tizimiga qo‘yiladigan talablar oshadi — yuqori kuchlanishli transformatorlar, yuqori chastotali konvertorlarning quvvat elementi bazasi, izolyatsiya materiallari va xavfsizlik texnikasi vositalari narxi sezilarli darajada (10-25% ga) ortadi, bu esa qurilmaning boshlang‘ich narxini oshiradi. Shuningdek, 10 kV dan yuqori kuchlanishlarda korona razryadlar va mikro-parchalanishlar ehtimoli ortganligi sababli, elektrodning eroziyasi va izolyatsiyaning qarishi tezlashadi, bu esa qurilmaning ishlash muddatini qisqartiradi va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini oshiradi. Shuning uchun, 10 kV kuchlanish nafaqat energiya sarfi va samaradorlik o‘rtasidagi optimal nuqta, balki texnik-iqtisodiy, ekspluatatsion va xavfsizlik talablarining kompleks majmuasini qanoatlantiruvchi yagona maqbul yechim sifatida qabul qilinadi.

3-rasmda chastotaning saralash samaradorligiga ta‘siri ( $U = 10$  kV,  $d = 15$  mm,  $W = 8\%$  da) keltirilgan.



3-rasm. Saralash samaradorligining chastotaga bog‘liqligi

Grafik tavsifi: X o‘qi — chastota (Hz), Y o‘qi — saralash samaradorligi (%). 50 Hz da 68%, 200 Hz da 78%, 500 Hz da 87,5%, 800 Hz da 87%, 1000 Hz da 84%, 1500 Hz da 79%. Samaradorlik 500 Hz gacha ortadi, keyin pasayadi.

Chastotaning 50 Hz dan 500 Hz gacha oshirilishi saralash samaradorligini 68% dan 87,5% gacha (19,5% ga) oshirgan. Buning sababi — chastota ortishi bilan dielektrik qutblanish jarayonlarining tezlashishi va dielektroforetik kuchning samaradorligining oshishi. 500 Hz dan yuqori chastotalarda (800-1500 Hz) samaradorlik pasaygan (87% dan 79% gacha), chunki juda yuqori chastotalarda chigitlarning qutblanishi maydon o‘zgarishiga ulgurmay qoladi (relaksatsiya hodisasi) va maydon ta’siri samaradorligi kamayadi. Shuningdek, yuqori chastotalarda dielektrik isitish kuchayib, chigitlarning namligi qisman bug‘lanadi va dielektrik xususiyatlari o‘zgaradi.

1-jadvalda elektrodlar oralig‘ining saralash samaradorligiga ta’siri ( $U = 10$  kV,  $f = 500$  Hz,  $W = 8\%$  da) keltirilgan.

1-jadval. Elektrodlar oralig‘ining saralash samaradorligiga ta’siri

№	Elektrodlar oralig‘i d (mm)	Maydon kuchlanganligi E (kV/mm)	Saralash samaradorligi $\eta$ (%)	Solishtirma energiya sarfi Ws (kVt·soat/t)
1	10	1.00	92.3	2.4
2	15	0.67	87.5	1.8
3	20	0.50	78.2	1.5
4	25	0.40	68.1	1.3

Elektrodlar oralig‘ining 10 mm dan 25 mm gacha oshirilishi maydon kuchlanganligini 1,00 kV/mm dan 0,40 kV/mm gacha (2,5 baravar) pasaytirgan. Buning natijasida saralash samaradorligi 92,3% dan 68,1% gacha (24,2% ga) kamaygan. Elektrodlar oralig‘i qancha kichik bo‘lsa, maydon kuchlanganligi shuncha yuqori bo‘ladi va dielektroforetik kuch shuncha katta bo‘ladi, bu esa saralash aniqligini oshiradi. Biroq, 10 mm oralig‘ida energiya sarfi 2,4 kVt·soat/t ni tashkil etgan (15 mm oralig‘iga nisbatan 33% yuqori), chunki kichik oraliqda tizim sig‘imi  $C = \epsilon_0 \epsilon S/d$  formula bo‘yicha ortadi va reaktiv quvvat komponenti oshadi. 15 mm oralig‘i optimal deb topildi, chunki u 87,5% samaradorlik va nisbatan past energiya sarfini (1,8 kVt·soat/t) ta’minlagan.

2-jadvalda chigit namligining saralash samaradorligiga ta'siri ( $U = 10 \text{ kV}$ ,  $f = 500 \text{ Hz}$ ,  $d = 15 \text{ mm}$  da) keltirilgan.

2-jadval. Chigit namligining saralash samaradorligi va energiya sarfiga ta'siri

№	Chigit namligi W (%)	Dielektrik singdiruvchanlik $\epsilon$	Dielektrik yo'qotish burchagi $\tan\delta$	Saralash samaradorligi $\eta$ (%)	Solishtirma energiya sarfi $W_s$ (kVt·soat/t)
1	6	2.8	0.025	78.5	1.4
2	8	3.5	0.045	87.5	1.8
3	10	4.8	0.082	86.2	2.3
4	12	6.2	0.135	81.3	3.1

Chigit namligi 6% dan 8% gacha oshganda saralash samaradorligi 78,5% dan 87,5% gacha (9% ga) oshgan. Buning sababi — namlik ortishi bilan chigitning dielektrik singdiruvchanligi ( $\epsilon$ ) va elektr o'tkazuvchanligi oshadi, bu esa sog'lom va zararlangan, namligi farqlanuvchi chigitlar o'rtasidagi dielektrik xususiyatlar farqini kengaytiradi va ajratish aniqligini oshiradi. Namlik 10% gacha oshganda samaradorlik 86,2% gacha biroz pasaygan, 12% da esa 81,3% gacha keskin kamaygan. Buning sababi — namlik juda yuqori bo'lganda (12% va undan yuqori) chigitlarning elektr o'tkazuvchanligi shunchalik ortadiki, elektrodlar orasida qisqa tutashuvga yaqin holat yuzaga keladi, maydon notekis taqsimlanadi va dielektroforetik kuchning selektivligi pasayadi.

Solishtirma energiya sarfi namlik ortishi bilan 6% da 1,4 kVt·soat/t dan 12% da 3,1 kVt·soat/t gacha (2,2 baravar) oshgan. Bu  $P_d = 2\pi fCU^2 \tan\delta$  formula bilan izohlanadi: namlik ortishi bilan  $\tan\delta$  qiymati 0,025 dan 0,135 gacha (5,4 baravar) oshgan, bu esa dielektrik yo'qotishlar quvvatini va natijada umumiy energiya sarfini keskin oshirgan. Optimal namlik oralig'i 8-10% deb aniqlandi, chunki bu oraliqda maksimal samaradorlik (86-87,5%) va nisbatan o'rtacha energiya sarfi (1,8-2,3 kVt·soat/t) qayd etilgan.

#### 4. Muhokama

Ekspirimental tadqiqot natijalari dielektrik saralash jarayonida saralash samaradorligi va energiya sarfi o'rtasida murakkab, ko'p omilli bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi. Kuchlanishning ortishi samaradorlikni oshirsa-da, ma'lum chegaradan keyin (10-12 kV) energiya sarfi kvadratik o'sib, samaradorlik o'sishi sezilarli darajada kamayadi. Bu hodisa elektr maydonining havoning elektr mustahkamligi ( $E_{\text{parch}} \approx 3 \text{ kV/mm}$  quruq havo uchun) bilan cheklanishi bilan izohlanadi. 15 mm oralig'ida 10 kV kuchlanish maydon kuchlanganligi 0,67 kV/mm ni tashkil etadi, bu chegaraviy qiymatdan ancha past, biroq 15 kV da 1,0 kV/mm ga yaqinlashadi va mikro-parchalanishlar boshlanadi. Shuning uchun optimal kuchlanish sifatida 10 kV tanlandi, bu qiymat boshqa tadqiqotchilar (A. Sh. Mamatqulov, 2023; J. P. Novak, 2021) tomonidan paxta chigiti uchun tavsiya etilgan qiymatlar (8-12 kV) bilan mos keladi.

Chastotaning ta'siri ikki xil xarakterga ega: 500 Hz gacha samaradorlik ortadi, undan yuqori chastotalarda esa pasayadi. Bu hodisa materialning dielektrik relaksatsiya vaqti ( $\tau$ ) bilan izohlanadi. Paxta chigiti uchun relaksatsiya vaqti taxminan 0,5-1 ms oralig'ida bo'lib, bu chastota 200-500 Hz ga mos keladi. Chastota relaksatsiya chastotasidan ( $f_{\text{rel}} = 1/\tau$ ) yuqori bo'lganda, qutblanish maydon o'zgarishiga ulgurmaydi va materialning effektiv dielektrik singdiruvchanligi kamayadi, bu esa dielektroforetik kuchning pasayishiga olib keladi. Energiya sarfi esa chastotaga chiziqli bog'liq bo'lib, optimal chastotani tanlashda samaradorlik va energiya sarfi o'rtasidagi kompromissni topish zarur. 500 Hz rejimi ushbu kompromiss nuqtasi sifatida belgilandi.



Elektrodlar oralig'ining kamayishi samaradorlikni oshirsa-da, energiya sarfini ham oshiradi. Buning sababi kichik oraliqda tizim sig'imining ortishi ( $C \propto 1/d$ ) va bir xil kuchlanishda maydon kuchlanganligining ortishi hisobiga dielektrik yo'qotishlarning ortishi. 10 mm oralig'ida samaradorlik 92,3% ga yetgan bo'lsa-da, energiya sarfi 2,4 kVt·soat/t ni tashkil etdi, bu 15 mm oralig'iga nisbatan 33% yuqori. Sanoat sharoitida energiya samaradorligi ustuvor bo'lgani uchun 15 mm oralig'i optimal deb qabul qilindi.

Chigit namligining ta'siri alohida ahamiyatga ega, chunki real ishlab chiqarish sharoitida chigit namligi 6-12% oralig'ida o'zgarib turadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, optimal namlik oralig'i 8-10% bo'lib, bu oraliqda samaradorlik maksimal (86-87,5%) va energiya sarfi nisbatan o'rtacha (1,8-2,3 kVt·soat/t) bo'ladi. Namlik 12% dan yuqori bo'lganda, dielektrik yo'qotishlar keskin ortadi ( $\tan \delta$  0,135 gacha) va energiya sarfi 3,1 kVt·soat/t gacha ko'tariladi, shu bilan birga samaradorlik 81,3% gacha pasayadi. Bu holat shuni ko'rsatdiki, dielektrik separatorlarni loyihalashda chigitni oldindan quritish tizimini nazarda tutish yoki namlikka moslashuvchan boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish zarur.

### 5.Xulosa

1. Ishlab chiqilgan fizik model — baraban tipidagi dielektrik separator asosida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida paxta chigitlarini dielektrik usulda saralash jarayonining asosiy energetik va konstruktiv parametrlarining saralash samaradorligiga ta'sir qonuniyatlari aniqlandi.

2. Optimal elektr rejim parametrlari aniqlandi: kuchlanish 10 kV, chastota 500 Hz. Ushbu rejimda saralash samaradorligi 87,5% ga, solishtirma energiya sarfi 1,8 kVt·soat/t ga yetdi. Kuchlanishning 10 kV dan yuqori oshirilishi samaradorlikni atigi 1,5% ga oshirgan holda energiya sarfini 1,7 baravar oshirdi. Chastotaning 500 Hz dan yuqori oshirilishi esa samaradorlikning pasayishiga (1500 Hz da 79%) va energiya sarfining 3,2 kVt·soat/t gacha oshishiga olib keldi.

3. Elektrodlar oralig'ining optimal qiymati 15 mm ekanligi aniqlandi. Ushbu oraliqda saralash samaradorligi 87,5% va solishtirma energiya sarfi 1,8 kVt·soat/t ni tashkil etdi. Oralig'ning 10 mm gacha kamayishi samaradorlikni 92,3% gacha oshirdi, biroq energiya sarfini 2,4 kVt·soat/t (33% ga) oshirdi. Oralig'ning 25 mm gacha oshirilishi esa energiya sarfini 1,3 kVt·soat/t gacha kamaytirdi, ammo samaradorlikni 68,1% gacha pasaytirdi.

4. Chigit namligining optimal oralig'i 8-10% ekanligi aniqlandi. Ushbu oraliqda saralash samaradorligi 86-87,5% va solishtirma energiya sarfi 1,8-2,3 kVt·soat/t ni tashkil etdi. Namlik 6% dan 8% gacha oshishi samaradorlikni 78,5% dan 87,5% gacha oshirdi, biroq namlik 12% gacha oshganda samaradorlik 81,3% gacha pasaydi va energiya sarfi 3,1 kVt·soat/t gacha (2,2 baravar) oshdi.

5. Kelgusidagi tadqiqotlarda impulsli elektr maydonlarini qo'llash, namlikka moslashuvchan chastotani avtomatik boshqarish tizimlarini ishlab chiqish va elektrodlar konstruksiyasini segmentlash orqali energiya sarfini yanada kamaytirish imkoniyatlarini o'rganish tavsiya etiladi. Ushbu yo'nalishlardagi tadqiqotlar dielektrik separatorlarning sanoatda keng joriy etilishiga va paxta chigitini qayta ishlashda energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

### 6.Adabiyotlar.

1. Mamadzhonov B. D., ugli Mannobboev S. S. Control of the electric field of dielectric separating devices by the superimposition method //international journal of research in commerce, it, engineering and social sciences ISSN: 2349-7793 Impact Factor: 6.876. – 2022. – T. 16. – №. 07. – C. 37-41.

2. Мамаджанов Б. Д., Шукурралиев А. Ш., Манноббоев Ш. С. Методика расчета электрической емкости рабочего органа диэлектрической сортировочной машины //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 15. – С. 581-589.

3. Мамаджанов Б. Д., Манноббоев Ш. Меры по минимизации потерь мощности и энергии в электрических сетях //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – Т. 2. – №. 15. – С. 162-168.
4. Mamadzhonov B. et al. Dielectric separation //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 471. – С. 02017.
5. A.Yu. Ishlinsky, Renting and Drawing in high velocity rates of deformation. Application tasks of mechanics. Book 1, (M. Science, 1986), pp. 263–269.
6. Sevostyanov AG, Sevostyanov PA Modeling of technological processes. M. Light Industry, 1984. pp. 344.
7. P.G. Patil and G.R. Anap and V.G. Arude, Design and development of cylinder type cotton precleaner. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, (2014).
8. A. Dzhuraev, R.Kh. Makkudov, Sh. Shukhratov, J. “Problems of textiles” 3-4, 128–131 (2013).
9. A. Yu. Ishlinsky, Renting and Drawing in high velocity rates of deformation. Application tasks of mechanics. Book 1, (M. Science, 1986), pp. 263–269.
10. Sh. Azizov, M. Ibrohimov, F. Uzoqov and M. Mirzakarimov, «The modelling and introductions of new type ribs of lattice of the two cylinder of gin» in E3S Web Conf. 273, 07020 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307020>



## VIRTUAL PLATFORMALARDA MAHALLIY MAHSULOTLAR TAQSIMOTINI TASHKIL ETISH ALGORITMI

Mansurova Makhina Yashnarovna<sup>1</sup>, Jumaboev Behzod Farxod o'g'li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UMFT, Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i, PhD, dotsent  
m.ya.mansurova@gmail.com

<sup>2</sup> Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti tayanch doktorantura talabasi  
jumaboevbehzod@gmail.com

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada virtual platformalar orqali mahalliy mahsulotlar taqsimotini ma'lumotlarga asoslangan holda optimallashtirish masalasi tadqiq etilgan. Toshkent, Samarqand va Farg'ona shaharlari misolida qo'shma taqsimot tarmog'i modeli ishlab chiqilib, unda transport tezligi, talab hajmi va mijoz joylashuvi haqidagi ma'lumotlar sun'iy intellekt elementlari yordamida qayta ishlangan. Prognozlash jarayonida genetik algoritm bilan optimallashtirilgan orqaga uzatish (BP) neyron tarmog'i qo'llanilgan. Shuningdek, oldindan rejalashtirish va real vaqt rejimidagi moslashtirishni o'z ichiga olgan ikki bosqichli dinamik optimallashtirish modeli hamda gibridd simulyatsion sovitish algoritmi taklif etilgan. Natijalar taklif etilgan yondashuv taqsimot xarajatlarini 15–20% ga kamaytirish va yetkazib berish samaradorligini oshirish imkonini berishini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari mahalliy mahsulotlar savdosini raqamlashtirish va logistika jarayonlarini optimallashtirishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** virtual platforma, mahalliy mahsulotlar, ma'lumotlarga asoslangan model, aqlli logistika, optimallashtirish, neyron tarmoq, algoritmi, axborot almashinuvi.

**Аннотация:** В данной статье исследуется задача оптимизации распределения местной продукции через виртуальные платформы на основе данных. На примере городов Ташкент, Самарканд и Фергана разработана модель совместной распределительной сети, в которой данные о скорости транспорта, объеме спроса и расположении клиентов обрабатываются с использованием элементов искусственного интеллекта. В процессе прогнозирования применена нейронная сеть с обратным распространением ошибки (BP), оптимизированная с помощью генетического алгоритма. Также предложена двухэтапная модель динамической оптимизации, включающая предварительное планирование и адаптацию в режиме реального времени, а также гибридный алгоритм имитационного отжига. Результаты показывают, что предложенный подход позволяет снизить затраты на распределение на 15–20% и повысить эффективность доставки. Полученные результаты имеют научно-практическое значение для цифровизации торговли местной продукцией и оптимизации логистических процессов.

**Ключевые слова:** виртуальная платформа, местная продукция, модель на основе данных, интеллектуальная логистика, оптимизация, нейронная сеть, алгоритм, обмен информацией.

**Abstract:** This paper investigates the problem of optimizing the distribution of local products through virtual platforms based on data-driven approaches. Using the examples of Tashkent, Samarkand, and Fergana, a joint distribution network model was developed, in which data on transport speed, demand volume, and customer locations are processed using elements of artificial intelligence. In the forecasting process, a backpropagation (BP) neural network optimized by a genetic algorithm was applied. In addition, a two-stage dynamic optimization model was proposed, incorporating both pre-planning and real-time adaptation, along with a hybrid simulated

annealing algorithm. The results show that the proposed approach can reduce distribution costs by 15–20% and improve delivery efficiency. The findings have scientific and practical significance for the digitalization of local product trade and the optimization of logistics processes.

**Keywords:** virtual platform, local products, data-driven model, smart logistics, optimization, neural network, algorithm, information exchange.

## 1. Kirish

So‘nggi yillarda O‘zbekistonda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini ishlab chiqarish, saqlash va taqsimlash jarayonlarini raqamlashtirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi doirasida mahalliy ishlab chiqaruvchilarni ichki bozorlar bilan bog‘lovchi virtual savdo platformalarini rivojlantirish hamda logistika jarayonlarini optimallashtirish ustuvor vazifa etib belgilangan. Oziq-ovqat mahsulotlariga bo‘lgan talabning o‘shishi va logistika xizmatlari hajmining kengayishi samarali boshqaruv mexanizmlarini joriy etishni taqozo etmoqda. Biroq, shahar yo‘llaridagi tirbandlik, yetkazib berishning oxirgi bosqichidagi kechikishlar, mijozlar talabining tez o‘zgarishi hamda mahsulotlarning qisqa saqlanish muddati mahalliy mahsulotlar taqsimotida muammolarni keltirib chiqarmoqda. Transport xarajatlarining yuqori ulushi mahsulot tannarxining oshishiga va raqobatbardoshlikning pasayishiga olib kelmoqda. Shu sababli, taqsimot jarayonlarini ma‘lumotlarga asoslangan holda optimallashtirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Zamonaviy IoT va intellektual transport tizimlari real vaqt rejimida transport harakati va talab dinamikasi haqidagi ma‘lumotlarni tahlil qilish imkonini beradi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston sharoitida virtual platformalarda mahalliy mahsulotlar taqsimotini ma‘lumotlarga asoslangan ikki bosqichli dinamik optimallashtirish modeli yordamida samarali boshqarishga qaratilgan. Taklif etilgan yondashuv transport tezligini prognozlash va resurslardan oqilona foydalanish orqali taqsimot samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

## 2. Adabiyotlar tahlili

Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini taqsimlash bo‘yicha xalqaro tadqiqotlar asosan joylashuv-marshrutlash muammosi (LRP), vaqt oynali transport marshrutlash muammosi (VRPTW) va sovuq zanjir logistikasi kabi optimallashtirish modellariga tayanadi. Barra mahsulotlar uchun ko‘p agentli boshqaruv, joylashuv-marshrut-inventar (LRI) tizimlari, vaqtga bog‘liq marshrutlash, ombor joylashuvi va transport yo‘nalishlarini birgalikda optimallashtirish bo‘yicha Ma, Govindan, Kritiyakierne, Liu, Zhou, Chen, Wang va Navazi kabi olimlar tomonidan samarali yondashuvlar taklif qilingan. Ushbu tadqiqotlarda talab heterogenligi, sovuq zanjir sharoitlari, transport sig‘imi va yangi mahsulotlar buzilish dinamikasi keng yoritilgan.

Dinamik taqsimotga oid ilmiy ishlarda yo‘l tarmog‘idagi tirbandlik, ob-havo, transport vositalari holati, mijozlar talabining o‘zgarishi va buyurtmalarning bekor qilinishi kabi real vaqt omillari hisobga olinadi. Avtomobillar tezligining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi (time-dependent speed), transportdagi buzilishlarni boshqarish (disruption management) va yangi mijozlarga tezkor javob berish bo‘yicha tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, an‘anaviy statik modellar real logistika muhitiga to‘liq mos kelmaydi. Xususan, tirbandlik va talabning keskin o‘zgarishi mavjud marshrutlarni qayta tuzishni talab qiladigan eng muhim omillardir.

So‘nggi yillarda qo‘shma taqsimot (joint distribution) yondashuvi rivojlanib, transport vositalari, mijozlar va omborlar kabi resurslarni ulashish samaradorlikni keskin oshirishi isbotlangan. Dron–yuk mashinasi kombinatsiyalari, ijaradagi transportdan foydalanish, mijoz resurslarini ulashish va ko‘p markazli taqsimot kabi modellar logistika xarajatlarini kamaytirishda samarali ekanligi tajribalar orqali tasdiqlangan. Bu yondashuv ayniqsa kichik ishlab chiqaruvchilar ko‘p bo‘lgan bozorlarda muhim ahamiyatga ega.

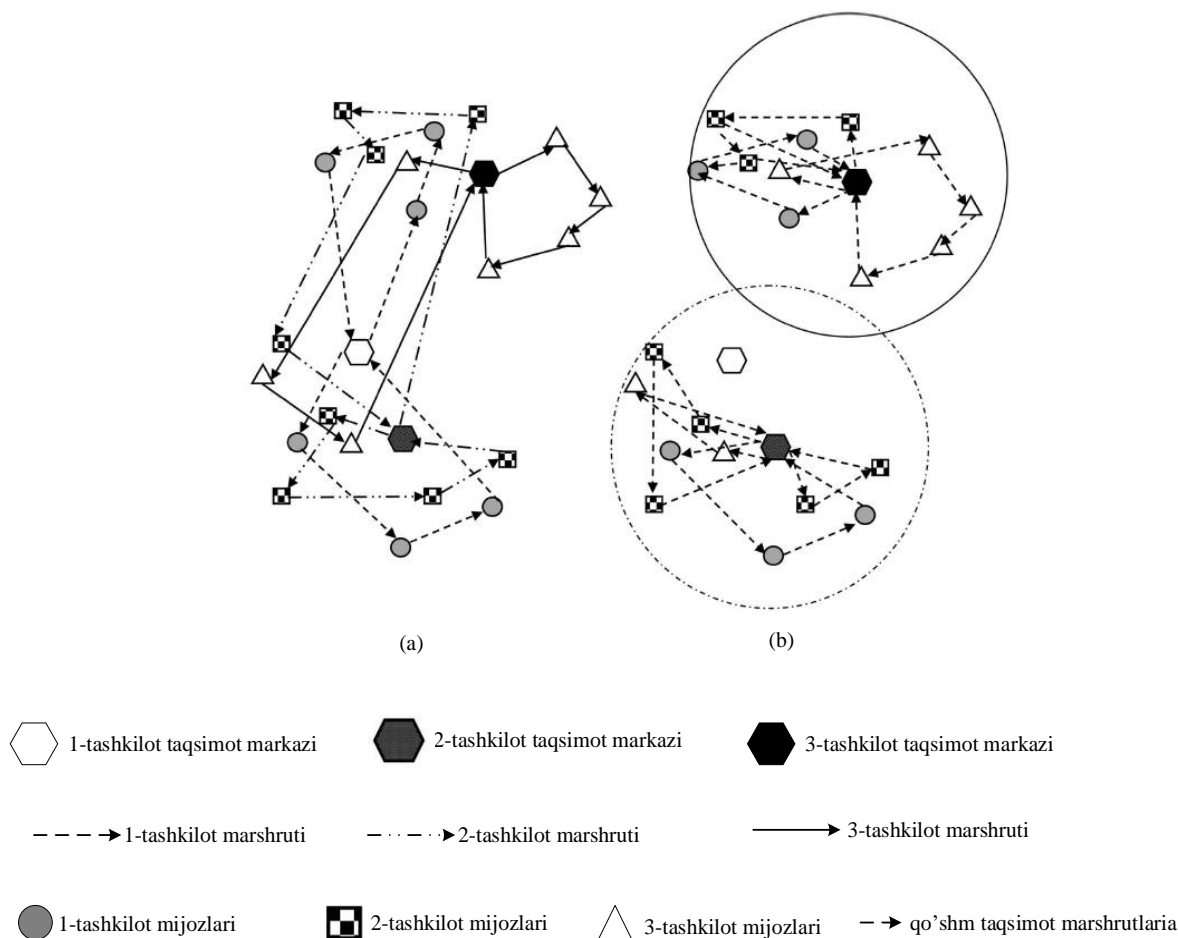
Ma‘lumotlarga asoslangan (data-driven) yondashuvlar esa transport tizimlarida katta ma‘lumotlar, IoT va sun‘iy intellekt texnologiyalari yordamida yo‘l tezligini bashoratlash,



yetkazib berish vaqtini prognozlash, marshrutlarni optimallashtirish va taqsimot markazlari yuklanishini boshqarish imkonini beradi. Uzuq-qisqa muddatli xotirali (LSTM), BP va boshqa neyron tarmoqlar asosida yo‘l tezligini aniqlashga oid xorijiy ishlarda yuqori aniqlik ko‘rsatkichlari qayd etilgan. Biroq ushbu yondashuvlarning logistika optimallashtirish modellari bilan to‘liq integratsiyasi hamon chuqur tadqiqotni talab qiladi.

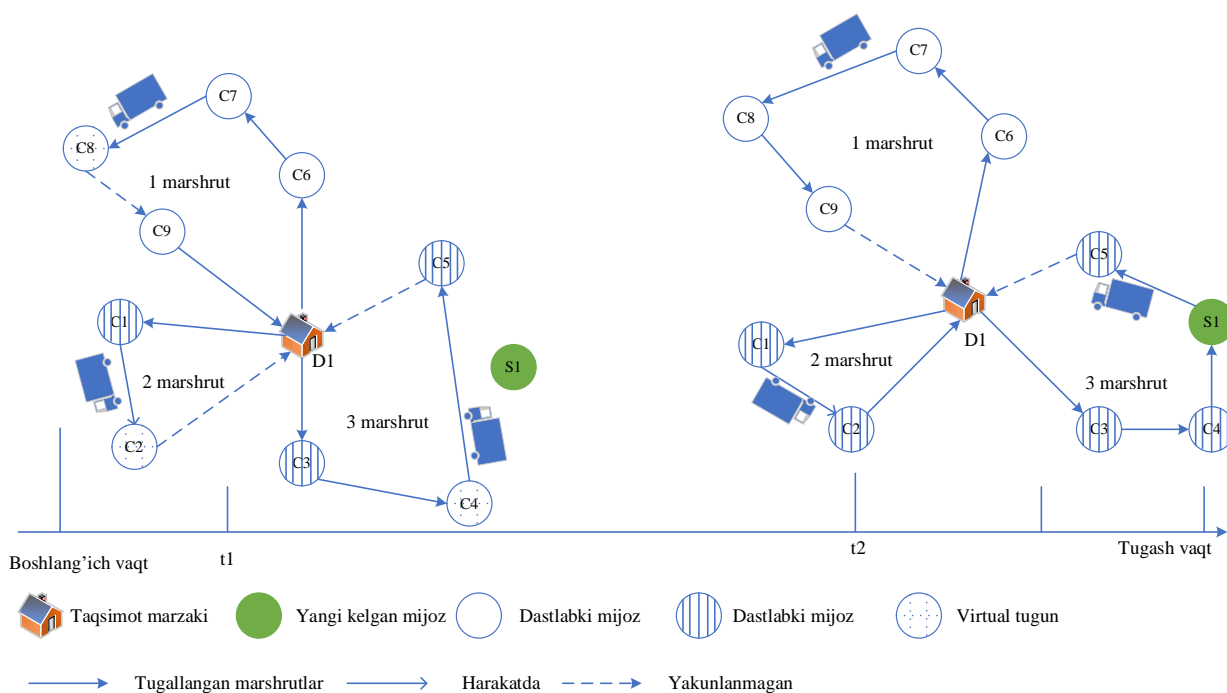
Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, aksariyat tadqiqotlar faqat bitta omilga — masalan, yo‘l holati yoki talab dinamikasiga — qaratilgan bo‘lib, amaliyotda esa bir nechta omillar bir vaqtda yuzaga chiqadi. O‘zbekiston sharoitida mahsulotlarning tez buziluvchanligi, shahar markazlaridagi tirbandlik, yetkazib berish vaqtining tebranishi va logistika harajatlarining yuqoriligi mavjud muammolarning murakkablashuviga sabab bo‘ladi. Shu bois ushbu tadqiqotda ma’lumotlarga asoslangan yondashuv, ikki bosqichli dinamik optimallashtirish modeli va resurs ulashuviga asoslangan qo‘shma taqsimot mexanizmini birlashtirish orqali mavjud bo‘shliq to‘ldiriladi.

Tadqiqot materiali va uslublari: Ushbu tadqiqotning asosiy ob’ekti — virtual platformalarda tashkil etilgan mahalliy qishloq xo‘jaligi mahsulotlari taqsimoti tizimi bo‘lib, unda bir nechta nomzod taqsimot markazlari (depolar), bir xil turdagi transport vositalari va vaqt oynalariga (time window) ega mijozlar majmuasi ko‘zda tutiladi. Tizim ikki bosqichda boshqariladi: oldindan optimallashtirish (pre-optimization) va dinamik moslashtirish (dynamic adjustment).



1-rasm. Transport vositalari va mijozlar resurslarini ulashish sharoitida qishloq xo‘jaligi mahsulotlari qo‘shma taqsimot tarmog‘ining optimallashtirishdan oldin va keyingi holatini solishtiruvchi sxematik diagramma

Oldindan optimallashtirish bosqichida ma'lum bo'lgan dastlabki mijozlar talabi, ularning joylashuvi, vaqt oynalari, nomzod taqsimot markazlari va transport parkiga doir ma'lumotlar asosida optimal depo tanlash va dastlabki taqsimot marshrutlarini qurish maqsad qilingan. Dinamik moslashtirish bosqichida esa IoT texnologiyalari orqali yig'iladigan real vaqt ma'lumotlari asosida yangi mijozlar, talab o'zgarishlari va yo'l sharoitlari hisobga olinib, mavjud marshrutlar qayta optimallashtiriladi.



2-rasm. Asosiy tugunlar va transport marshrutlarini moslashtirish jarayoni.

Yo'l tezligini ma'lumotlarga asoslangan bashoratlash - Genetic Algorithm-Backpropagation Neural Network (GA-BP). Shahar yo'l tarmog'ida transport vositalari tezligi tirbandlik va kunning vaqtiga qarab keskin o'zgaradi. Shu sababli, taqsimot marshrutlarini rejalashtirishda vaqt bo'yicha o'zgaruvchi tezlikni hisobga olish zarur. Buning uchun tarixiy tezlik qatcorlari sirpanish oynasi (sliding window) usuli bilan qayta shakllantirilib, kirish belgilar majmuasi sifatida quyidagi komponentlar tanlanadi: oxirgi 5 ta vaqt kesimiga tegishli tezlik qiymatlari va mos ravishda avvalgi kun, avvalgi hafta va kecha kuzatilgan tezliklar. Natijada BP neyron tarmog'i uchun kirish neyronlari soni 8 ta, chiqish esa 1 ta — t vaqtidagi bashorat tezligidan iborat bo'ladi.

BP neyron tarmog'i parametrlarini tanlashda mahalliy minimumlarda qolib ketish xavfini kamaytirish maqsadida genetik algoritmi (GA) dan foydalaniladi. GA-BP modeliga mos eng yaxshi parametrlar to'plamini topishga xizmat qiladi. Shu tariqa, GA-BP modeli yo'l tezligini bashorat qilishda nolinear bog'liqliklarni hisobga oladi va taqsimot marshrutlarini ancha aniqroq baholash imkonini beradi. Ikki bosqichli optimallashtirish modeli, oldindan optimallashtirish bosqichida maqsad funksiyasi sifatida umumiy taqsimot xarajatlari minimallashtiriladi. Bu xarajatlarga taqsimot markazini ishga tushirish xarajatlari (DC), transport vositalarining doimiy xarajatlari (VVC), transport harakat xarajatlari (CVC), mijozlarning xizmat ko'rsatish vaqt oynasi buzilishi uchun penaltilar (PC) hamda mahsulot yangiligini yo'qotish bilan bog'liq zararlar (AC) kiradi. Modelda transport sig'imi, yagona xizmat, sub-marsrutlarning oldini olish va vaqt bog'liqligi kabi cheklovlar inobatga olinadi.



Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining yangiligi vaqt o‘tishi bilan kamayib boradi. Ushbu maqolada qo‘llanilgan yo‘qotish funksiyasi (1)-tenglama orqali ifodalanadi.

$$\lambda_1 = \lambda_0 \exp(-\beta t) \quad (1)$$

Bu yerda

$\lambda_0$  - yangi qishloq xo‘jaligi mahsulotlari taqsimlash markazidan chiqayotgan paytdagi massa (yoki yangilik) doimiysi;

$\beta$  - mahsulotning buzilish (yaroqsizlanish) koeffitsiyenti.

Mazkur tadqiqotda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining yo‘qotilish xarajatlari ikki qismdan iborat deb qaraladi:

1. taqsimlash jarayonidagi yo‘qotish xarajatlari;
2. yuklash va tushirish jarayonidagi shikastlanish xarajatlari.

Shu asosda qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining umumiy yo‘qotilish xarajati AC quyidagi (2)-tenglama bilan ifodalanadi:

$$AC = FS \sum_{i \in R \cup N_1} \sum_{j \in N_1} \sum_{k \in K} Z_{ijk} U_{ik} (1 - e^{-\beta(T_{ik} - T_s)}) + F_S \sum_{i \in N_1} \sum_{k \in K} Z_{ijk} U_{(i-1)k} (1 - e^{-\beta_2 S_i}) \quad (2)$$

Matematik model, oldindan optimallashtirish bosqichi modeli quyidagi xarajatlarning umumiy qiymatini minimallashtirishga qaratilgan: taqsimlash markazining ekspluatatsion xarajatlari; transport vositalarining qat‘iy (doimiy) xarajatlari; transport vositalarining harakat (yo‘l) xarajatlari; vaqt oynasiga rioya qilinmagani uchun jarima xarajatlari; qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining yo‘qotilish xarajatlari.

$$\min TC = DC + VVC + CVC + PC + AC \quad (3)$$

$$DC = \sum_{r \in R} F_R X_r \quad (4)$$

$$VVC = \sum_{r \in R} \sum_{i \in N_1} \sum_{k \in K} F_k X_{ijk} \quad (5)$$

$$CVC = \sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_1} \sum_{k \in K} F_d t_{ijk} X_{ijk} \quad (6)$$

$$PC = \sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_1} \max[\varphi_1 (ET_i - T_{ik}) Z_{ijk}, 0] + \sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_1} \max[\varphi_2 (T_{ik} - LT_i) Z_{ijk}, 0] \quad (7)$$

Cheklovlar:

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{k \in K} q_i Z_{ijk} \leq Q_k, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_1} Z_{ijk} = |S_k| - 1, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in R \cup N_1} Z_{ijk} - \sum_{i \in R \cup N_1} Z_{ijk} = 0, \forall k \in K, j \in N_1 \quad (10)$$

$$\sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_1} Z_{ijk} = \sum_{j \in N_1} \sum_{i \in N_1} Z_{ijk} = 1, \forall k \in K \quad (11)$$

$$T_{jk} = T_{jk} + t_{ijk} S_i \forall i \in N_1 \cup R, k \in K \quad (12)$$

(3)-tenglamada **DC** taqsimlash markazining ekspluatatsion (ishlash) xarajatlarini, **VVC** transport vositalarining qat‘iy (doimiy) xarajatlarini, **CVC** transport vositalarining harakat (yo‘l) xarajatlarini, **PC** vaqt oynasiga rioya qilinmagani natijasida yuzaga keladigan jarima xarajatlarini, **AC** esa qishloq xo‘jaligi mahsulotlarining yo‘qotilish xarajatlarini ifodalaydi. (8)–(13)-tenglamalar modelning cheklov shartlarini belgilaydi. Xususan, (8)-tenglama transport vositasining yuk sig‘imi cheklovini ifodalaydi. (9)-tenglama marshrutda kichik sikllar (sub-loops) mavjud bo‘lmashligini ta‘minlaydi. (10)-tenglama mijozga xizmat ko‘rsatilgandan so‘ng transport vositasining chiqishini va kirish-chiqish oqimlarining muvozanatini ta‘minlash zarurligini

ko'rsatadi. (11)-tenglama har bir mijozga faqat bitta transport vositasi xizmat ko'rsatishini kafolatlaydi. (12)-tenglama esa bitta marshrut doirasida qo'shni tugunlar orasida transport vositalarining yetib kelish vaqtlari o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

Dinamik moslashtirish bosqichi modelida ishtirok etuvchi o'zgaruvchilar quyidagicha izohlanadi: yangi mijoz paydo bo'ladigan vaqt  $t$  bilan belgilanadi;  $T_n$  —  $n$ -davrning yakuniy vaqti;  $M_n$  — yangi mijozlar hamda avval xizmat ko'rsatilmagan mavjud mijozlar to'plami;  $K'$  — taqsimlash tarmog'ida harakatlanayotgan (yo'lda bo'lgan) transport vositalari to'plami;  $Q_k$  — harakatdagi transport vositalarida qolgan qishloq xo'jaligi mahsulotlari miqdori;  $K''$  — taqsimlash markazi tomonidan qo'shimcha ravishda jo'natilishi mumkin bo'lgan yangi transport vositalari to'plami;  $K''' = K' \cup K''$  — harakatdagi va yangi jo'natiladigan transport vositalarining umumiy to'plami. Dinamik moslashtirish bosqichi modelining maqsadi transport vositalarining qat'iy xarajatlari, harakat (yo'l) xarajatlari, vaqt oynasiga rioya qilinmagani sababli yuzaga keladigan jarima xarajatlari hamda qishloq xo'jaligi mahsulotlarining yo'qotilish xarajatlari yig'indisini minimallashtirishdan iborat.

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{j \in M_n} \sum_{k \in K'''} F_k Z_{rjk} + \sum_{i \in R' \cup M_n} \sum_{j \in R' \cup M_n} \sum_{k \in K'''} F_d t_{ijk} Z_{ijk} \\
 & + \sum_{i \in R' \cup M_n} \sum_{j \in M_n} \sum_{k \in K'''} Z_{ijk} F_s U_{ik} (1 - e^{-\beta_1(T_{ik} - T_s)}) + \sum_{i \in M_n} \sum_{k \in K'''} Z_{ijk} F_s U_{(j-1)k} (1 - e^{-\beta_2 S_i}) \\
 & + \sum_{i \in M_n} \sum_{j \in M_n} \max[\varphi_1 (ET_i - T_{ik}) Z_{ijk}, 0] + \sum_{i \in M_n} \sum_{j \in M_n} \max[\varphi_2 (T_{ik} - LT_i) Z_{ijk}, 0]
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\sum_{i \in R' \cup M_n} \sum_{j \in M_n} Z_{ijk'} q_i \leq Q_{k'}, \forall k' \in K' \tag{14}$$

$$\sum_{i \in R' \cup M_n} \sum_{j \in M_n} Z_{ijk''} q_i \leq Q_k, \forall k'' \in K'' \tag{15}$$

$$\sum_{i \in R' \cup M_n \cup vs} \sum_{k \in K'''} Z_{ijk} = 1, \forall j \in M_n \tag{16}$$

$$\sum_{j \in R' \cup M_n \cup vs} \sum_{k \in K'''} Z_{jik} = 1, \forall i \in M_n \tag{17}$$

$$\sum_{k \in K'} \sum_{j \in M_n} Z_{ijk} = 1, \forall i \in VC \tag{18}$$

$$\sum_{k \in K'} \sum_{i \in R' \cup M_n} Z_{ijk} = 1, \forall j \in VC \tag{19}$$

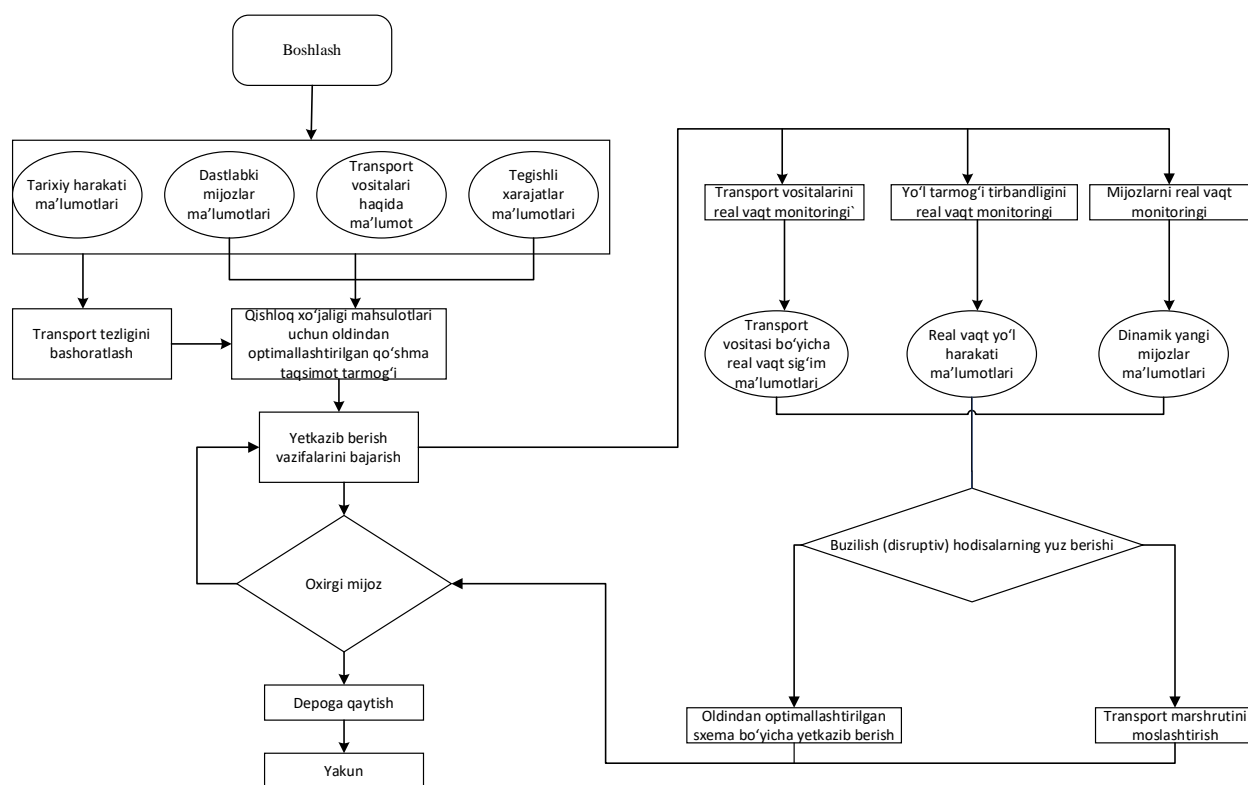
13-tenglama bilan ifodalangan maqsad funksiyasi taqsimlash xarajatlarini minimallashtirishga qaratilgan. Ushbu funksiyaning birinchi qismi transport vositalarining qat'iy (doimiy) xarajatlarini, ikkinchi qismi transport vositalarining harakat (yo'l) xarajatlarini, uchinchi qismi qishloq xo'jaligi mahsulotlarining yo'qotilish xarajatlarini, to'rtinchi qismi esa mijozning vaqt oynasiga rioya qilinmagani natijasida yuzaga keladigan jarima xarajatlarini ifodalaydi. (14) va (15)-tenglamalar mos ravishda harakatdagi transport vositalari hamda yangi jo'natilgan transport vositalarining yuk sig'imi cheklovlarini belgilaydi. (16) va (17)-tenglamalar har bir mijozga faqat bitta transport vositasi tomonidan bir marta xizmat ko'rsatilishini ta'minlaydi. (18) va (19)-tenglamalar esa transport vositalarining virtual tugunni tark etgandan so'ng unga qaytishini cheklaydi hamda har bir virtual tugundan faqat bitta transport vositasining chiqishini kafolatlaydi.

Dinamik moslashtirish bosqichida IoT tizimi orqali olingan real vaqt ma'lumotlari asosida yangi mijozlar, buyurtma hajmining oshishi yoki kamayishi hamda buyurtma bekor qilinishi kabi buzilish hodisalari qayta ko'rib chiqiladi. Harakatdagi transport vositalarining holati virtual tugunlar sifatida tasvirlanib, yangi va xizmat ko'rsatilmagan mijozlar uchun marshrutlar qayta optimallashtiriladi. Bu bosqichda umumiy xarajat tarkibi o'xshash bo'lib qoladi, biroq depo ishga tushirish xarajatlari odatda allaqachon hisobga olingan bo'ladi.



Ekspirimentlar MATLAB muhiti va Python dasturlash tili asosida amalga oshiriladi. GA–BP tezlik bashorat modeli Python yordamida, taqsimot tarmog‘ini optimallashtirish esa MATLABda PGHSAA algoritmi orqali bajarilgan. Natijalarni vizualizatsiya qilish uchun grafik chizmalar va jadvallar shakllantiriladi.

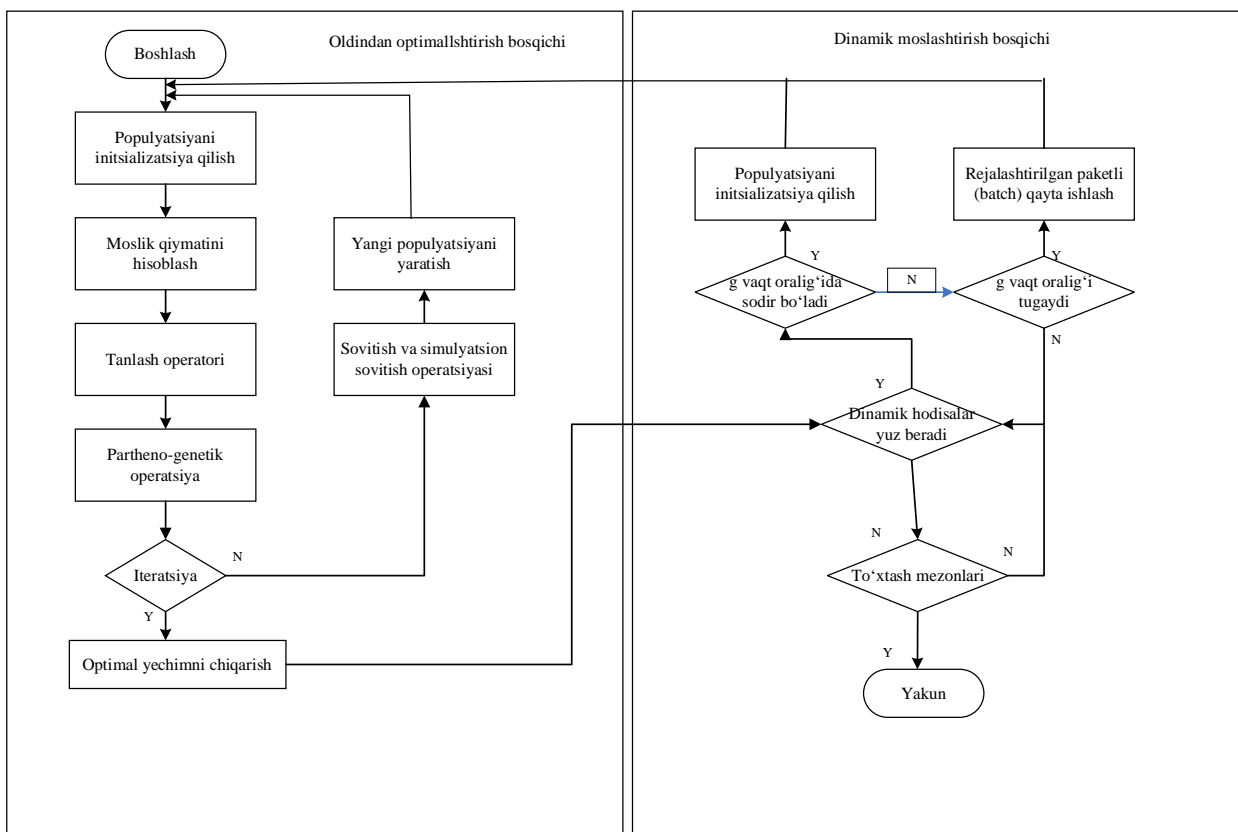
Tadqiqot natijalari: Ushbu bo‘limda taklif etilgan model va PGHSAA algoritmining samaradorligi, shuningdek, virtual platforma asosida mahalliy mahsulotlarni qo‘shma taqsimlash strategiyasining natijalari keltiriladi. Natijalar Ko‘p-depoli transport vositalari marshrutlash muammosi (MDVRP) asosida generatsiya qilingan test misollari hamda uch korxonaga taqsimot tarmog‘i misolida tahlil qilinadi.



3-rasm. IoT asosida ma'lumotlarga tayangan holda qishloq xo'jaligi mahsulotlarining qo'shma taqsimot tarmog'ini ikki bosqichli dinamik optimallashtirish jarayoni.

PGHSAA algoritmi Kulrang bo'ri optimallashtirish algoritmi (GWO) va Manta nurlari asosidagi oziqlanish optimizatori (MOA) kabi zamonaviy intellektual optimallashtirish algoritmlari bilan taqqoslandi. 10 ta turli o'lchamdagi misollar bo'yicha o'rtacha umumiy xarajat PGHSAA da GWO ga nisbatan 14,29% va MOA ga nisbatan 15,77% ga kam bo'ldi. Bu esa taklif etilgan algoritmnin nafaqat aniqroq yechim topishini, balki qidiruv jarayonida samaraliroq ishlashini ko'rsatadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, PGHSAA algoritmi yirik va murakkab taqsimot tarmog'ini sharoitida ham raqobatbardosh, hatto ustun yechimlar berishga qodir. Ayniqsa, mijozlar soni va depo soni ortib borganda, PGHSAA ning afzalligi yanada aniqroq namoyon bo'ladi.

Barqarorlik va hisoblash vaqti tahlili, algoritmlarning barqarorligini baholash uchun bir nechta misollar bo'yicha 10 martadan ishga tushirilib, maqsad funksiyasi qiymatlarining tarqalishi boxplot yordamida tahlil qilingan. GWO va MOA algoritmlarida natijalar tarqalishi keng va dispersiya yuqori bo'lgan bo'lsa, PGHSAA natijalari ancha zich va barqaror ko'rinish olgan. Bu esa taklif etilgan algoritmnin yuqori robustlikka ega ekanini ko'rsatadi.



Rasm 4: PGHSAA algoritmining oqim diagrammasi.

Hisoblash vaqti bo'yicha ham PGHSAA raqobatbardosh natijalar ko'rsatgan. Masalan, o'rta o'lchamli misollardan birida ishlash vaqti atigi taxminan 90 soniya bo'lib, bu dinamik taqsimot muammolari uchun amaliy jihatdan maqbul ko'rsatkichdir.

Qo'shma taqsimot (transport va mijozlar ulashinuvi) strategiyasining afzalliklarini baholash uchun an'anaviy alohida taqsimot va taklif etilgan qo'shma taqsimot ssenariylari solishtirildi. Natijalar quyidagilarni ko'rsatdi:

- qo'llanilgan transport vositalari soni 16,67% ga qisqardi;
- transport vositalari yuklanish koeffitsienti (LR) 18,92% ga oshdi;
- umumiy harakat masofasi 1,82% ga kamaydi;
- mahsulot yangilik yo'qotishlari bilan bog'liq xarajatlar 2,84% ga kamaydi;
- vaqt oynasi buzilishi uchun penalti xarajatlari 85,11% ga qisqardi.

Dinamik hodisalar — yangi mijozlar paydo bo'lishi, buyurtma bekor qilinishi yoki talab hajmining o'zgarishi — uchta vaqt intervali davomida kuzatildi. Har bir intervalda dinamik mijozlar to'plami yangilanib, virtual tugunlar sifatida harakatdagi transport vositalarining joriy joylashuvi inobatga olingan holda marshrutlar qayta optimallashtirildi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan immediat va batch yondashuvlarni birlashtiruvchi strategiya faqat batch usuliga nisbatan transport vositalari sonini 16,7% ga, harakat masofasini 8,01% ga, umumiy xarajatni esa 14,86% ga qisqartira oldi. Shu bilan birga, dasturiy realizatsiyaning o'rtacha javob vaqti bir necha soniya atrofida bo'lib, real vaqt rejimida dinamik taqsimotni qayta tuzish uchun yetarli ekanligi ko'rindi.

### 3. Muhokama

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, virtual platformalar asosida mahalliy mahsulotlarni taqsimlash jarayonini ma'lumotlarga tayangan holda boshqarish O'zbekiston sharoitida ham



samarali natijalar berishi mumkin. Ikki bosqichli model va PGHSAA algoritmi nafaqat umumiy xarajatlarni kamaytiradi, balki taqsimot tarmog'ining dinamik sharoitlarga moslashuvchanligini ham oshiradi.

Taklif etilgan modelning asosiy afzalligi shundaki, u bir vaqtning o'zida bir nechta murakkab omillarni — vaqt bo'yicha o'zgaruvchi yo'l tezligi, mijozlar talabining dinamikasi, mahsulot yangilik yo'qotishlari va transport resurslarini ulashish imkoniyatini — integratsiyalashgan holda hisobga oladi. Bu esa alohida ko'rilgan statik modellar va oddiy heuristik yechimlardan sezilarli darajada ustunlik beradi.

An'anaviy statik taqsimot modellarida yo'l sharoitlari va mijozlar talabining o'zgarishi hisobga olinmaydi yoki juda soddalashtirilgan shaklda aks ettiriladi. Markov zanjiri yoki klassik regressiya asosidagi prognozlash usullari esa odatda murakkab nolinear dinamikani to'liq qamrab ololmaydi. GA–BP modelidan foydalanish yo'l tezligini bashoratlashda chuqur nolinear bog'liqliklarni hisobga olish imkonini beradi, PGHSAA esa ko'p cheklovli, ko'p komponentli xarajat funksiyalarini yechishda yuqori sifatga erishadi.

Ma'lumotlarga tayangan boshqaruv yondashuvi real vaqt rejimida yo'l tarmog'i holatini, mijozlar talabining o'zgarishini va transport parkining bandligini kuzatib borish va ularga mos ravishda taqsimot rejalarini moslashtirish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, qisqa saqlanish muddatiga ega bo'lgan mahsulotlar uchun muhim bo'lib, yetkazib berish kechikishini kamaytirishga va yo'qotishlar ulushini pasaytirishga xizmat qiladi.

Cheklovlar: birinchidan, modelning aniqligi to'g'ridan-to'g'ri yo'l tarmog'i va mijozlar talabiga oid ma'lumotlarning sifati va to'liqligiga bog'liq. Ikkinchidan, IoT va tashqi trafik API xizmatlari bilan integratsiya qilish texnik va tashkiliy jihatdan murakkab bo'lishi mumkin. Uchinchidan, yirik shaharlar va ko'p sonli mijozlarga ega platformalarda real vaqt optimallashtirishning hisoblash murakkabligi sezilarli darajada ortadi.

#### 4.Xulosa

Tadqiqot O'zbekiston sharoitida mahalliy mahsulotlar taqsimotini raqamlashtirish va optimallashtirish uchun samarali yechim taklif qildi. Ikki bosqichli model, GA–BP tezlik bashorat modeli va PGHSAA algoritmi kombinatsiyasi taqsimot xarajatlarini kamaytirish, xizmat ko'rsatish tezligini oshirish va logistika jarayonlarining moslashuvchanligini kuchaytirish imkonini berdi. Qo'shma taqsimot (joint distribution) strategiyasi mustaqil taqsimotdan sezilarli darajada ustun bo'lib, resurslardan oqilona foydalanishni ta'minladi va xizmat sifati yaxshilandi. Natijalar O'zbekistonning "Raqamli iqtisodiyot", "Smart Agro Logistics" va "Smart City" tashabbuslari uchun nazariy va amaliy asos yaratadi. Tadqiqotni yanada kengaytirish uchun quyidagi yo'nalishlar istiqbolli hisoblanadi: Reinforcement Learning asosida real vaqt optimallashtirish — murakkab dinamik sharoitlarda o'z-o'zini moslashtiruvchi taqsimot modellarini yaratish. Digital Twin (raqamli egizak) integratsiyasi — yo'l tarmog'i, tirbandliklar, mijozlar xatti-harakati va transport oqimini real sharoitga yaqin simulyatsiya qilish orqali model aniqligini oshirish. Hududlar bo'yicha keng qamrovli amaliy testlar — Toshkent, Farg'ona vodiysi, Qashqadaryo va boshqa regionlardan olingan real ma'lumotlar bilan modelni kalibrlash. Ko'p maqsadli optimallashtirish — xarajat, tezlik, CO<sub>2</sub> chiqindisi va xizmat sifati bo'yicha integrallashtirilgan qarorlar ishlab chiqish.

#### 5.Adabiyotlar

1. Yakubov M.S. Raqamli logistika tizimlarida taqsimot jarayonlarini optimallashtirishning nazariy asoslari. *TATU Ilmiy jurnali*, 2022, №3, B. 44–52.
2. Xolmatov B.T., Raxmonov D.S. Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini taqsimlashda raqamli platformalarning o'rni va afzalliklari. *O'zbekiston Qishloq xo'jaligi jurnali*, 2021, №6, B. 25–33.

3. Abdullayev S.A., To‘xtasinov A.B. Transport logistikasi va “oxirgi kilometr” yetkazib berish muammolari: tahlil va yechimlar. *Logistika va Transport*, 2023, №2, B. 17–29.
4. Sultonov I.J. Sun‘iy intellekt asosida taqsimot tarmoqlarini boshqarish: nazariya va amaliyot. *TATU Axborotnomasi*, 2022, №4, B. 58–67.
5. Karimov R.O. O‘zbekiston shaharlarida tirbandliklarni kamaytirish va aqlli transport tizimlarini joriy etish. *Innovatsion Rivojlanish Jurnali*, 2020, №1, B. 92–101.
6. Rahmatov O.A. Raqamli iqtisodiyot sharoitida elektron tijorat va logistika integratsiyasi. *Iqtisodiyot va Innovatsion Texnologiyalar*, 2021, №5, B. 33–40.
7. Yuldoshev A.A., Qodirov M.M. IoT texnologiyalarining real vaqt monitoringida qo‘llanilishi. *TATU Ilmiy axborotlari*, 2021, №2, B. 73–80.
8. Jumaboyev B.F., Mansurova M.Y. An overview of transport logistics in Kazakhstan: Focus on the case of Astana. *Journal of Multidisciplinary Science and Innovation*. – 2025. – Vol. 4, Issue 4. – B. 1129–1132.
9. Jumaboyev B.F., Mansurova M.Y. Integratsiyalashgan axborot tizimlarida elektron savdoni amalga oshirish usullari. *Development of Science ilmiy jurnali*. – 2025. – T. 3, № 7. – B. 51–62. – ISSN 3030-3907.
10. Jumaboyev B.F., Bekmuhammedov B.N., Mansurova M.Y. Optimizing workforce dynamics: A comparative analysis of regional development. *Open Access Repository*. – 2024. – Vol. 10, № 3. – B. 1–7.
11. Zhou X., et al. Fresh-product cold-chain LRP with temperature control. *Applied Mathematical Modelling*, 2020, Vol. 85, pp. 777–794.
12. Chen L., et al. Perishable food distribution under time windows: Two-level optimization. *Omega*, 2019, Vol. 92, pp. 102–118.
13. Navazi R., et al. Closed-loop location-routing-inventory model for perishable goods. *Journal of Cleaner Production*, 2020, Vol. 244, pp. 118–129.
14. Ding D., et al. Disruption management in cold chain logistics. *Transportation Research Part E*, 2018, Vol. 114, pp. 1–15.
15. Xia Y., et al. Vehicle routing for fresh products with customer sharing. *Computers & Operations Research*, 2021, Vol. 136, pp. 105–122.
16. Chu L., et al. Data-driven delivery path optimization using linear regression. *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 159, pp. 113–122.



## FRAKTAL XUSUSIYATLI RELYEFNING EROZIYA PARCHALANISHI JARAYONINING FRAKTAL O'LCHOVINI ANIQLASH USULLARI YORDAMIDA YERNING YEMIRILISH XUSUSIYATINI TADQIQ QILISH.

Saidkulov Elyor Abdullayevich<sup>1</sup>, Akbarov Husan O'zbekxonovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muhammad al-xorazmiy nomidagi toshkent axborot texnologiyalari universiteti  
Samarqand filiali, elyorsamtiut9977@gmail.com

<sup>2</sup>Oriental universiteti Samarqand kampusi, akbarovhusan@gmail.com

**Annotatsiya:** Mazkur tadqiqotda fraktal xususiyatga ega bo'lgan obyektlarini geometrik modellashtirish va ularni vizual ko'rinishda ifodalash masalalari o'rganilgan. O'z-o'ziga o'xshashlik belgisi bilan ajralib turuvchi fraktal tuzilmalar daryo tizimlari hamda eroziya natijasida yuzaga kelgan tabiiy relyef shakllarini tahlil qilish va modellashtirishda samarali yondashuvni ta'minlaydi. Ish jarayonida ilg'or "quti hisoblash" hamda kubik metodlardan foydalanilgan holda yer yuzasining fraktal o'lchamlarini aniqlashga mo'ljallangan takomillashtirilgan algoritm ishlab chiqilgan. Ushbu metod murakkab relyef shakllaridagi fraktal belgilarni yanada aniqroq aniqlash imkonini beradi va bu esa ekologik tadqiqotlar, shahar rejalashtirish hamda gidrologik modellashtirish sohalarida muhim ahamiyatga ega. Taklif etilgan modellar va algoritmlar amaliy dasturlarda muvaffaqiyatli qo'llanilib, hudud chegaralarini aniqlash va yer resurslarini baholash jarayonlarining samaradorligini oshirgan.

**Kalit so'zlar:** Yer yuzini vizualizatsiya qilish, katakchalarni sanash usuli, fraktal geometriya, geometrik modellashtirish, daryo tarmoqlari.

**Аннотация:** В данном исследовании рассмотрены вопросы геометрического моделирования объектов, обладающих фрактальными свойствами, и их визуального представления. Фрактальные структуры, характеризующиеся признаком самоподобия, обеспечивают эффективный подход к анализу и моделированию речных систем, а также форм природного рельефа, сформированных в результате эрозионных процессов. В ходе работы разработан усовершенствованный алгоритм определения фрактальной размерности поверхности Земли с использованием современных методов «подсчёта ячеек» (box-counting) и кубического анализа. Данный метод позволяет более точно выявлять фрактальные характеристики сложных форм рельефа, что имеет важное значение для экологических исследований, градостроительного планирования и гидрологического моделирования. Предложенные модели и алгоритмы успешно применены в прикладных программных решениях, повысив эффективность процессов определения границ территорий и оценки земельных ресурсов.

**Ключевые слова:** визуализация поверхности Земли, метод подсчёта ячеек, фрактальная геометрия, геометрическое моделирование, речные сети.

**Abstract:** This study explores the issues of geometric modeling of objects with fractal properties and their visual representation. Fractal structures, characterized by self-similarity, provide an effective approach for analyzing and modeling river systems as well as natural landforms formed as a result of erosion processes. During the study, an improved algorithm for determining the fractal dimension of the Earth's surface was developed using advanced box-counting and cubic methods. This approach enables more accurate identification of fractal features in complex terrain forms, which is of significant importance for ecological research, urban planning, and hydrological modeling. The proposed models and algorithms have been successfully implemented in practical software applications, improving the efficiency of processes such as boundary delineation and land resource assessment.

**Keywords:** Earth surface visualization, box-counting method, fractal geometry, geometric modeling, river networks.

## 1. Kirish

Bugungi kunda tabiiy obyektlarni chuqur va aniq tahlil qilishda geometrik yondashuvlar ko'plab hollarda yetarli bo'lmay qolmoqda. Ayniqsa, murakkab tuzilishga ega bo'lgan tabiiy obyektlar, tog' tizmalari, relyef shakllari, qirg'oq chiziqlari va daryo tarmoqlari kabi obyektlarning geometrik xususiyatlarini tavsiflashda Yevklid geometriyasining o'zi yetarli bo'lmaydi. Shu sababli so'nggi yillarda fraktal geometriya va multifraktal tahlil usullari tabiiy obyektlarni o'rganishda samarali matematik apparat sifatida keng qo'llanilmoqda.

Daryo tarmoqlari yer yuzasidagi eng murakkab va dinamik tabiiy tizimlardan biri bo'lib, ularning shakllanishi va rivojlanishi iqlim sharoiti, geologik tuzilish, relyef, tuproq tarkibi hamda suv oqimining xususiyatlari bilan chambarchas bog'liq. Daryo o'zanlarida yuz beradigan eroziya jarayonlari esa hududning ekologik holati, yer resurslaridan foydalanish samaradorligi va suv xo'jaligi xavfsizligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu bois daryo tarmoqlarining geometrik tuzilishini miqdoriy baholash va eroziya jarayonlarini aniqlash dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda masofaviy zondlash texnologiyalarining rivojlanishi natijasida yuqori aniqlikdagi aerokosmik va sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida daryo tarmoqlarini raqamli tahlil qilish imkoniyati ortib bormoqda. Bunday tasvirlar asosida fraktal o'lchovni aniqlash uchun katakchalarni sanash usuli, kublar usuli va ularning takomillashtirilgan variantlari keng qo'llanilmoqda. Biroq mavjud usullarning ayrimlari fraktal tasvir mavjud bo'lmagan hududlarni ham hisobga olishi sababli aniqlik darajasi kamayib bormoqda.

## 2. Asosiy qism

Ushbu maqolada Zarafshon daryo tarmog'ining eroziya mavjud qismlarini aniqlash va tahlil qilish maqsadida fraktal o'lchovni aniqlashning turli usullari qo'llanildi hamda ularning natijalari o'zaro solishtirildi. Maqolada katakchalarni sanash usuli, kublar usuli va takomillashtirilgan kublar usuli yordamida fraktal o'lchovlar hisoblanib, ushbu usullarning aniqligi va amaliy samaradorligi baholandi. Shuningdek, turli yillarda olingan tasvirlar yordamida fraktal o'lchovlarning o'zgarishi tahlil qilinib, eroziya jarayonlarining hududiy va vaqt bo'yicha dinamikasi o'rganildi hamda erroziya mavjud hududlarda qo'shimcha daryo tarmog'i hosil qilish uchun geometrik madel ishlab chiqildi.

Tadqiqotning asosiy maqsadi Zarafshon daryo tarmog'ining fraktal xususiyatlarini aniqlash, eroziya jarayonlarini fraktal o'lchovlar orqali baholash hamda daryo tarmoqlari hosil bo'lishining geometrik va fraktal modellarini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish orqali daryo tarmoqlarining morfologik o'zgarishlarini aniqlash, xavfli eroziya hududlarini belgilash ko'zda tutilgan.

Daryo tarmog'ining murakkabligi va ko'p darajali takrorlanishi tufayli daryo tuzilishini tavsiflash uchun qanday parametrlardan foydalanish kerakligi haqida aniq fikr keltirilmagan. Bundan tashqari, yemirilishni aniqlash uchun normal rivojlanish mezoni zarur. Ushbu muammolarni hal qilish uchun har xil daryo tarmog'i tizimlarini baholash uchun, bir qancha fraktal tahlillar o'tkazildi. Daryo tarmog'i tizimlari qat'iy fraktal tuzilishga ega emas, chunki ular cheksiz tarqalgan, ammo o'ziga o'xshash xususiyatlarga ega, shuning uchun tarqalish jarayoni bir xil bo'ladi. Shu sababli, daryo tarmog'i fraktal xususiyatga ega va fraktal tuzilishni tashkil qiladi deb hisoblanishi mumkin. Qaralayotgan ishda erroziya parchalanish jarayonining fraktal o'lchovini aniqlash usullari keltirildi (1-rasm).



1-rasm. Daryo tarmog'ining tuzulishi

Yer relyefini eroziya parchalanishi jarayonining fraktal o'lchovini aniqlash usullari turli xil matematik va kompyuter modellashtirish usullaridan foydalanadi. Maqolada jarayonni tadqiq qilish uchun ishlatiladigan asosiy usullar haqida umumiy ma'lumot keltirilgan.

Daryo tarmog'ida qiyalik qancha yuqori bo'lsa eroziya shunchalik yuqori bo'lishini ko'rish mumkin. Daryo qiyaligi yerning eroziyasiga katta ta'sir ko'rsatadi, chunki u daryo oqimining tezligi va kuchiga bevosita ta'sir qiladi. Yuqori qiyalik bo'lgan daryolar tezroq oqadi va bu oqimning kuchini oshiradi. Bu kuchli oqim esa tuproqni, toshlarni va boshqa materiallarni o'ziga tortib, olib ketadi va natijada erozion jarayonlar tezlashadi.

Tuproq yo'qolishi o'lchovi. Tuproq yo'qolishi o'lchovi erozion jarayonlar natijasida yo'qolgan tuproq miqdorini aniqlashga yordam beradi.

Oqim tezligini o'lchash. Oqim tezligini o'lchash erozion jarayonlarning qanchalik tezligi haqida ma'lumot beradi.

O'zan shaklini tahlil qilish. O'zan shaklini tahlil qilish erozion jarayonlar natijasida o'zanning qanchalik o'zgarganligi haqida ma'lumot beradi.

Fraktal o'lchovini aniqlash va Geomorfologik xaritalarni tahlil qilish yordamida geomorfologik xaritalarni tahlil qilish erozion jarayonlarning qayerda sodir bo'layotganligi haqida ma'lumot beradi.

Mazkur ish Kadastir boshqarmasidan olingan tasvirlar asosida Zarafshon daryosining eroziya mavjud qismining fraktal o'lchovini aniqlashga qaratilgan. Daryo tarmog'ining eroziya mavjud qismining fraktal o'lchovini aniqlash uchun katakchalarni sanash va kublar usulining ikki xil varianti qo'llanildi.

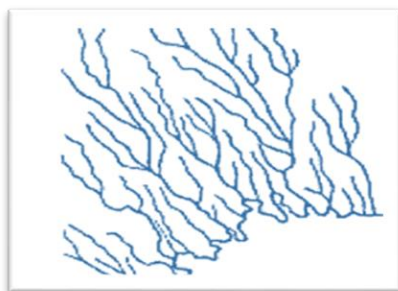
Zarafshon daryosining eroziya mavjud qismini fraktal o'lchovini aniqlashda qo'llanilayotgan usul ixtiyoriy 3D ko'rinishidagi 2D tasvirlar uchun Kublar usuli va qaralayotgan tasvir qaysi kublarda joylashganligi muhim hisoblanadi. Takomillashgan kublar usuli faqat fraktal tasvir mavjud sohani hisobga olgan holda fraktal o'lchovni aniqlaydi. Bundan tashqari, takomillashgan kublar usulining aniqliligi yuqori hisoblanadi, biroq kublarni sanashda kublarning o'lchami haqiqiy son bo'lishi talab etiladi.

Tabiatda fraktal tuzilishli tarmoqlar chuqur o'rganilgan. Kasrli o'lchovni baholashdan turli daryo tarmoq shakllanishlarini tavsiflash hamda tahlil qilishda foydalanish mumkin.

Murakkab fraktallarni matematik usullar bilan o'rganish va tavsiflash mumkin. Shu nuqtai nazardan, daryo irmoqlarining joylashuv zichligini tahlil qilish bu bo'shliqni to'ldirishni miqdoriy aniqlash sifatida qarash mumkin hamda tarmoqlangan daryo tizmining fraktal o'lchovini qiymati ikkiga qanchalik yaqin bo'lsa tarmoq bo'shliqni shunchalik samarali to'ldiradi. Shu sababli, fraktal o'lchovning yuqori chegarasi butun o'lchamga to'g'ri keladi. Haqiqat shundaki, fraktal tuzilishli tasvirlarni odatda har doim tekislikda deb qaraladi, shuning uchun fraktal tuzilishli obyektlarning tasvirlarni tekislikda qancha maydonni egallaganini aniqlash mumkin. Buning uchun tekislikni  $N$

ta katakchalarga bo‘lib, ularning o‘lchami  $a$  bilan belgilanadi va fraktal tasvirlar nechta katak kesib o‘tishi hisoblab aniqlanadi.

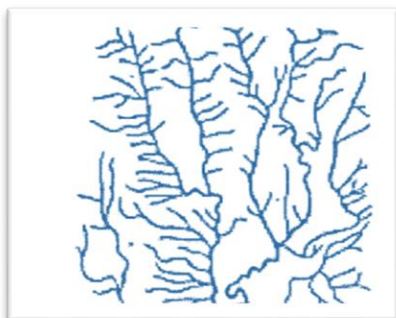
Daryo o‘zani – hududda joylashgan barcha daryo tarmoqlari yig‘indisi gidrografik tarmoqning bir qismi hisoblanadi. Daryo o‘zaninig tarmoqlangan shaklining chizmasi bir qator oddiy egri chiziqlar yig‘indisidan iborat. Har qanday hududda takrorlanadigan daryo o‘zanining turlari bir xil chizmalar hosil qiladi. Daryo tarmog‘i geometrik tuzilishiga ko‘ra quydagi turlarga bo‘linadi yalpizsimon, ildizli, parallel, panjarali, daraxt shoxlari, labirintsimon (2-rasm).



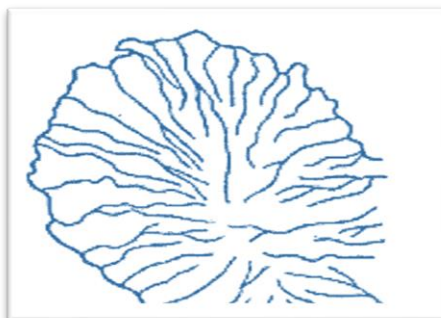
a) Parallel



b) Panjarali



s) Ildizli



d) Yalpizli



e) Labrintli



f) Daraxt shoxlari kabi

2-rasm. Daryo tarmog‘ini geometrik tuzilishiga ko‘ra turlari

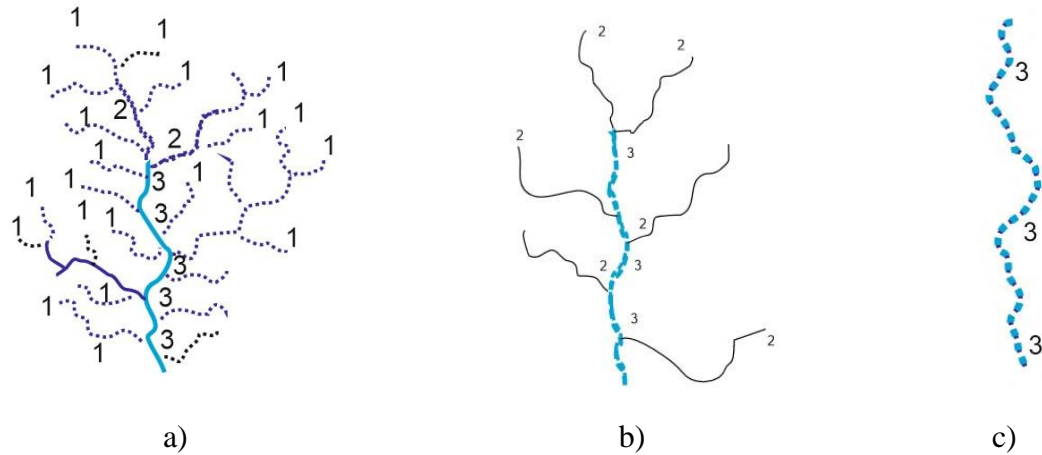
Ilmiy tadqiqotlardan ma’lumki, ko‘pgina tabiiy daryo tarmoqlari daraxtga o‘xshash chizmalar bilan tavsiflanadi. Daryolar suv quyilishiga ko‘ra ikki turga bo‘linadi ya’ni, okean va kontinent daryolari. Okean – bunday daryolar suvini okean yoki dengizlarga tutash bo‘lib suvini shularga quyadi. Kontinent daryolar - berk havzalardagi dengizlar yoki ko‘llarga quyiladi. Masalan, Amudaryo, sirdaryo, va boshqalar. Ayrim hollarda kontinent daryolari suv havzalarigacha, hatto, bosh daryogacha ham yetib bormasligi mumkin. Masalan, Zarafshon daryosi, Qashqadaryo va boshqalar. Zarafshon daryo tarmog‘i geometirik tuzilishiga ko‘ra daraxt shoxlari kabi bo‘lib, shu sababli maqolada zarafshon daryo tizmining farktal o‘lchovini aniqlash va bu asosida daryo tarmoqlarining o‘zgarish sohasini aniqlash tadqiq qilindi. Umuman olganda



qaysi oqim asosiy daryo va qaysi irmoq ekanligini aniqlash uchun oxirgi shoxdan yuqoriga qarab quyidagi qoidalar qo'llaniladi (3-rasm).

1) ikkita oqimning qo'shilishidan boshlanib, asosiy daryo qo'shilishdan pastda oqadigan yo'nalish bo'yicha yuqoriga qarab davom etadigan va asosiy daryoga katta burchak ostida ulanadigan daryoga irmoq nomi berilishi kerak.

2) agar ikkita oqim asosiy daryoga taxminan bir xil burchak ostida quyilsa, qisqaroq oqim odatda quyi tartibli oqim hisoblanadi.



3-rasm. Uch xil tartibli daryo tarmog'ining ko'rinishi: a) Daryoning tarmoqlarga bo'linishi. b) kontental daryolar. c) okean daryolar

Daryo tarmog'ining tuzilishini belgilovchi eng muhim xususiyatlari quyidagilardir.

- daryo va irmoqlarining tez oqishi, uzunligi va soni;
- daryo tarmog'ining zichligi;
- daryo tarmoqlarining burilish burchagi va tarqalishi;
- daryo tarmoqlarining ko'l tarkibi;

Bundan tashqari daryo tarmog'ini farktal tahlil qilinsa ularning eng muhim geometrik belgilari.

- daryo havzasi maydoni;
- suv havzasi chizig'ining o'sish koeffitsienti;
- hovuzning assimetriya koeffitsienti;
- hovuzning o'rtacha balandligi, kabi parametrlar farktal hususiyatli daryo o'zanlarining farktal o'lchovlarini aniqlashda muhim o'rin egallaydi.

Daryo tarmog'ining o'sish darajasining eng oddiy va eng qulay tavsifi daryo tarmog'ining zichligi hisoblanadi. Daryo tarmog'ining zichligi odatda havzadagi barcha yer usti suv oqimlarining umumiy uzunligining ushbu havzaning maydoniga nisbati sifatida aniqlanadi, ya'ni

$$S_d = \frac{\sum L}{HM} \quad (1)$$

bu yerda  $S_d$  – daryo tarmog'ining zichligini,  $\sum L$  – daryo tarmoqlari uzunligi yig'indisini,  $HM$  – havzaning maydonini (kv.km yoki xarita masshtabida kv.sm) bildiradi.

Zichlik qiymatlariga muvofiq daryo tarmoqlarining quyidagi turlarini ajratish mumkin. 6-jadvalda keltirilgan daryolar tarmog'i zichligining qiymatlari, agar ular turli masshtabdagi xaritalardan yoki bir xil darajasidagi tadqiqotlar natijasidan olingan bo'lsa, alohida hududlar uchun bir-biri bilan taqqoslanadi. Daryo tarmog'ining zichligi qo'shni suv oqimlari orasidagi o'rtacha masofani tavsiflaydi. Yomg'irning ko'payishi va o'tkazuvchan jinslarning kamligi bilan

ajralib turadigan tog‘li hududlarda daryolar tarmog‘ining zichligi odatda pasttekisliklarga qaraganda kattaroqdir.

O‘rmonli hududlarda aksincha, daraxtsiz joylarga nisbatan daryo tarmog‘ining zichligi pastroq. Bu suv filtrlash uchun qulay sharoitlar va bug‘lanishning kuchayishi bilan bog‘liq. Umuman olganda daryolar tarmog‘ining zichligi hududning geologik tuzilishi va iqlim sharoitiga bog‘liq bo‘lgan ko‘plab omillar bilan belgilanadi.

1-jadval. Daryo tarmoqlarining zichligi bo‘yicha taqqoslash

№	Daryo tarmoqlarining zichligi	Tarmoqlarining zichlik koeffitsientlari (km/km <sup>2</sup> da)
1	zichligi juda kam	0,10 dan kam
2	zichligi kam	0,10 dan 0,20 gacha
3	zichligi o‘rtacha	0,20 dan 0,40 gacha
4	zich	0,40 dan 0,70 gacha
5	juda zich	0,70 dan ko‘p

Oqim chastotasi  $F_s$  – maydon birligiga oqadigan daryolar soni:

$$F_s = \frac{N}{HM} \quad (2)$$

bu yerda  $N$  – suv yig‘ish maydonidagi oqimlarning umumiy soni,  $HM$  – havuz maydoni (km<sup>2</sup> yoki xarita masshtabida sm<sup>2</sup>).

Burilish koeffitsienti hisoblangan daryo havzasining boshlang‘ich va tugash nuqtalari o‘rtasida joylashadi. Daryo havzasining asosiy geometrik xarakteristikasi uning maydonidir. Havza maydonining kattaligi daryodagi suv miqdorini aniqlabgina qolmay, balki oqim hosil bo‘lish jarayonlariga ham bevosita ta‘sir qiladi (4-rasm).



4-rasm. Daryo oqimlarining chastotasini aniqlash

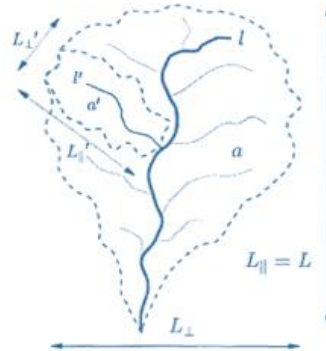
Suv havzasining farktal o‘lchovini aniqlash uchun xaritada suv havzasi chegaralari aniqlanadi va suv havzasi bilan chegaralangan maydon o‘lchanadi. Shu bilan birga xarita masshtabining kichiklashishi bilan hisob-kitoblarning aniqligi ham kamayadi, chunki xaritalarda sferik yer yuzasining proyeksiyasi ushbu yer maydoning haqiqiy o‘lchamlaridan qanchalik farq qilsa, yerning masshtablari shunchalik kichik bo‘ladi. Bundan tashqari irmoqlarning asosiy daryoga nisbatan quyilishiga qarab simmetrik va assimetrik havzalarga ajratiladi. Hovuzning assimetriyasining o‘lchovi assimetriya koeffitsienti bo‘lib,

$$a = \frac{F_L - F_r}{F_L + F_r} \quad (3)$$

bu yerda  $F_L$  – chap qirg‘oq irmoqlarining umumiy uzunligi,  $F_r$  – o‘ng qirg‘oq irmoqlarining umumiy uzunligi.



Quyida ko'rsatilgandek, ba'zi masshtab qonunlari eksponensial bog'liqlik shaklini oladi, boshqalari esa masshtablash munosabatlari ko'rinishida bo'ladi. Aniqlangan bog'liqliklar dissertatsiyaning keyingi bobida tasvirlangan daryo tarmoqlarining ko'plab fraktal modellari uchun asos bo'ldi. Daryo tarmoqlari uchun amal qiluvchi asosiy masshtablash munosabatlarining tahlilini aniqlandi. Buning uchun quyidagi daryo havzasi ko'rib chiqildi.



5-rasm. Daryo tarmog'ining sxematik ko'rinishi

5-rasmda daryo tarmog'ining sxematik ko'rinishi keltirilgan bo'lib, bunda  $a$  – daryo havzasining maydoni (uzuk chiziqlar bilan keltirilgan),  $l$  – asosiy oqimning uzunligi (qalin chiziq orqali tasvirlangan),  $L_{\perp}$  va  $L_{\parallel}$  – lar mos ravishda havzaning bo'yi va eni uzunliklari.

Birinchi bobning 3 chi bo'limida keltirilgan Horton qonunidan foydalangan holda quyidagi daryo tarmog'i hosil bo'lishining fraktal modeli ishlab chiqildi.

Oqim burchagini aniqlashda quyidagi amallar bajariladi.

$h_1$  birinchi nuqtadagi balandlik.

$h_2$  ikkinchi nuqtadagi balandlik.

$H$  balandliklar farqi.  $H = h_1 - h_2$

$l$  ikkala nuqta orasidagi masofa.

$\alpha$  oqim burchagi.

Oqim burchagi quyidagicha aniqlanadi.  $\alpha = \arctan \frac{H}{l}$

Katakchalarni sanash usuli

Katakchalarni sanash usuli yordamida fraktal tuzilishli tasvirlarning fraktal ya'ni, kasrli o'lchovni aniqlash algoritmi ishlab chiqildi [4].

1-qadam:

yuqoridagi  $N$  va  $a$  lar, quyidagi formula bilan bog'liq:

ya'ni,

$$N = C * a^{-D}$$

Bu yerda,  $D$  fraktal o'lchov,  $C$  fraktal geometriyaga xos bo'lgan kattalik. Fraktal o'lchov tekis sirtini ya'ni, obyektini fraktal tuzilishli tasvir bilan to'ldirish darajasini ko'rsatadi [11,10].

Fraktal tuzilishli tasvirlardan ajratilgan katakchalar chiziqlarning joylashgan bloklar soni va katakcha kattaligiga bog'liqligini aniqlash natijalari hamda shular asosida logarifm qiymatlar hisoblanadi.

2-qadam.

1-jadval. Formuladagi  $N$  va  $a$  lar asosida quyidagi jadval to'ldiriladi

Katakchalar soni $N$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
$Y = \ln N$	$\ln N_1$	$\ln N_2$	$\ln N_3$
$X = \ln a$	$\ln a_1$	$\ln a_2$	$\ln a_3$

3-qadam:  
ya'ni,

$$y = -D \cdot x + c. \tag{4}$$

bu formuladagi  $D$  – aniqlanayotgan fraktal o'lchov.

4-qadam:

so'ng 1-jadvaldagi barcha  $x$  va  $y$  larni yig'amiz:

$$\sum_{i=1}^n y_i = n \cdot c - D. \tag{5}$$

5-qadam:

yuqoridagi formula  $\sum_{i=1}^n x_i$  ga ko'paytiriladi:

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = c \cdot \sum_{i=1}^n x_i - D \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2, \tag{6}$$

6-qadam:

katakchalarni sanash usuli yordamida fraktal o'lchovni aniqlash formulasi kelib chiqadi:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \tag{7}$$

Katakchalarni sanashning takomillashtirilgan usulida:  $M \times N$ .

$$D = \frac{\lg(K(s))}{\lg\left(\frac{1}{s}\right)}. \tag{8}$$

$M \times N$  o'lchamli tasvir berilganda  $s$  quyidagicha hisoblanadi:

$$M > ms \text{ va } N = ns \text{ bo'lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M - ns)}{s},$$

$$M = ms \text{ va } N > ns \text{ bo'lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(N - ms)}{s}. \tag{9}$$



$$M > ms \text{ va } N > ns \text{ bo'lsa } n_{i,j} = \min\left(\frac{p_{i,j}}{p_s}, 1\right) \times \frac{(M-ms) \times (N-ms)}{s^2}. \quad (10)$$

Va ushbu formuladan yoydalanib fraktal o'lchov hisoblanadi.

Endi bu yerda tuproqning zichligini ham aniqlab olamiz. Odati holatda tuproq zichligi  $c \approx 2.65 \left(\frac{g}{sm^3}\right)$  ga teng. Tuproq zichligini maxsus silindrlarda aniqlab olish mumkin va zichlikni aniqlash formulasi quyida keltilgan [10].

$$c = \frac{m_c}{v_c} \frac{g}{sm^3};$$

$$\varphi_{2i+1} = 2\pi U(0,1).$$

$$\varphi_{2i+2} = \varphi_{2i+1} + \pi. \quad (11)$$

Dastlabki daryo tarmog'ining burchagi.

$$\theta_{2i+1} = \arccos\left(\frac{F_{n2i+1}^2}{2} + \frac{F_{n2i+1}^{-2}}{2} \left(1 - \left(1 - F_{n2i+1}^\gamma\right)^\frac{4}{\gamma}\right)\right);$$

$$\theta_{2i+2} = \arccos\left(\frac{F_{L2i+2}^2}{2} + \frac{F_{L2i+2}^{-2}}{2} \left(1 - \left(1 - F_{L2i+2}^\gamma\right)^\frac{4}{\gamma}\right)\right). \quad (12)$$

Formula yordamida qo'shimcha daryo tarmog'i hosil qilish mumkin.

### 3. Xulosa

Ushbu maqolada fraktal geometriya va multifraktal tahlil yondashuvlari asosida daryo tarmoqlarining murakkab geometrik tuzilishini matematik modellashtirish hamda ularning eroziya jarayonlari bilan bog'liqligini baholash masalalari chuqur o'rganildi. Tadqiqot obyekti sifatida Zarafshon daryosi tarmog'ining turli yillardagi masofaviy zondlash tasvirlari tanlab olinib, ular asosida daryo o'zanining fraktal xususiyatlari aniqlandi.

Ish jarayonida daryo tarmoqlari qat'iy fraktal obyekt bo'lmasa-da, o'ziga-o'zi o'xshashlik xususiyatiga ega murakkab geometrik tuzilma ekanligi asoslab berildi. Shu sababli daryo tarmoqlarini tahlil qilishda kasrli o'lchov — fraktal o'lchovdan foydalanish ilmiy jihatdan maqsadga muvofiq ekanligi isbotlandi. Fraktal o'lchov daryo tarmog'ining bo'shliqni to'ldirish samaradorligini miqdoriy baholash imkonini berib, eroziya jarayonlarining intensivligi va hududiy tarqalishini aniqlashda muhim ko'rsatkich sifatida xizmat qilishi aniqlandi.

### 4. Adabiyotlar

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. -656 с.
2. Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants // Springer-Verlag, New York. 2004. - 240 p.
3. Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений. // Мир ПК. – 1992. – № 10. – С. 52–58.
4. Ibrohimova Z.E. Saidkulov E.A. L-tizimlar usuli yordamida yerning fraktal sirtlarini qurish algoritmini ishlab chiqish. // "Al-Farg'oniy avlodlari" elektron ilmiy jurnali ISSN 2181-4252. Tom: 1 | Son: 3 | 2025-yil

5. Edgar M.G. Topology and Fraktal Geometry // Springer-Verlag, New York, 1990. –С. 92-99.
6. Акимов О.Е. Дискретная математика: логика, группы, графы, фракталы. // М: Издатель АКИМОВА, 2005. - 656 с.
7. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления // Отв. ред. Ю.Б. Башкуев. -Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. -224 с.
8. Брылкин Ю.В. Создание цифровых моделей рельефа в трёхмерном пространстве методами фрактальной геометрии // Digital Earth and Big Data GraphiCon 2017. – С. 295-297.
9. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. // Монография. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013, - 370 с.
10. Saidkulov E.A. Fraktal tuzilishli yer sirtini geometrik modellashtirish va vizuallashtirish. // Jurnal.Umft.uz ISSN 3060-5008. «Toshkent» -2025. -003 с.
11. Saidkulov E.A. Ibrohimova Z.E. Doirani geometrik shakillar bilan to'ldirish yordamida orol dengizining fraktal o'lchovini aniqlash. // Jurnal.Umft.uz ISSN 3060-5008. «Toshkent» -2025. -003 с.



## ONLAYN MASOFAVIY TA'LIM TIZIMIDA BILIMLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISH ALGORITMLARI

Yakubov Maksadxan Sultaniyazovich<sup>1</sup>, Bekmuxammedov Bunyodbek Nurmuxammad o'g'li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Toshkent axborot texnologiyalar universiteti professori maksadxan@mail.ru,

<sup>2</sup>Qo'qon davlat universiteti doktoranti, bekmuxammedovb@gmail.com

**Annotatsiya:** maqolada masofaviy ta'lim tizimlarining predmet sohalari bo'yicha bilimlarni adekvat tarzda tavsiflaydigan original ontologik bilimlar modeli ishlab chiqilgan, ontologik tavsiflar bo'limlari izomorfizmi tushunchasi kiritilgan hamda taklif etilgan amaliy ontologiyaning vazifaviy va mazmuniy qismlari o'rtasidagi izomorfizmning konstruktiv isboti keltirilgan, ontologiyaning mazmuniy va vazifaviy tarkibiy qismlarining izomorfizmi bunday ontologiyani ta'lim jarayonida qo'llash uchun zaruriy shart ekanligi asoslab berilgan, individual o'quv trayektoriyalaridagi nazorat nuqtalarini formal tahlil qilishga asoslangan holda ta'lim jarayonini nazorat qilish uchun semantik metrika ishlab chiqilgan. Individual o'quv trayektoriyalarining predmet sohaga oid bilimlarni ontologik taqdim etish tizimi bilan o'zaro bog'liqligi isbotlangan bo'lib, bu o'quv materiallari klasterlarini shakllantirish jarayonlari bilan individual ta'lim trayektoriyalarini alohida ajratish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:** individual ta'lim trayektoriyalari, ontologiya, semantik tarmoqlar, tezaurus, masofaviy ta'limni individuallashtirish, gomomorfizm, psixologik model, izomorfizm, deskriptiv mantiq, ontologik model, intellektual texnologiya.

**Аннотация:** В статье разработана оригинальная онтологическая модель знаний, адекватно описывающая предметные области систем дистанционного обучения. Введено понятие изоморфизма разделов онтологического описания, а также приведено конструктивное доказательство изоморфизма между функциональной и содержательной частями предложенной прикладной онтологии. Обосновано, что изоморфизм содержательных и функциональных компонентов онтологии является необходимым условием её эффективного применения в образовательном процессе. На основе формального анализа контрольных точек в индивидуальных образовательных траекториях разработана семантическая метрика для мониторинга учебного процесса. Доказана взаимосвязь индивидуальных образовательных траекторий с системой онтологического представления предметных знаний, что позволяет разделять индивидуальные траектории обучения и процессы формирования кластеров учебных материалов.

**Ключевые слова:** индивидуальные образовательные траектории, онтология, семантические сети, тезаурус, индивидуализация дистанционного обучения, гомоморфизм, психологическая модель, изоморфизм, дескриптивная логика, онтологическая модель, интеллектуальные технологии.

**Abstract:** This paper presents an original ontological knowledge model that adequately represents domain knowledge in distance learning systems. The concept of isomorphism between sections of ontological descriptions is introduced, and a constructive proof of the isomorphism between the functional and content components of the proposed applied ontology is provided. It is substantiated that the isomorphism of the content and functional components of an ontology is a necessary condition for its effective application in the educational process. Based on the formal analysis of control points in individual learning trajectories, a semantic metric for monitoring the learning process has been developed. The interrelation between individual learning trajectories

and the system of ontological representation of domain knowledge is proven, enabling the separation of individual learning paths from the processes of clustering educational materials.

**Keywords:** individual learning trajectories, ontology, semantic networks, thesaurus, personalization of distance learning, homomorphism, psychological model, isomorphism, description logic, ontological model, intelligent technologies.

## 1. Kirish.

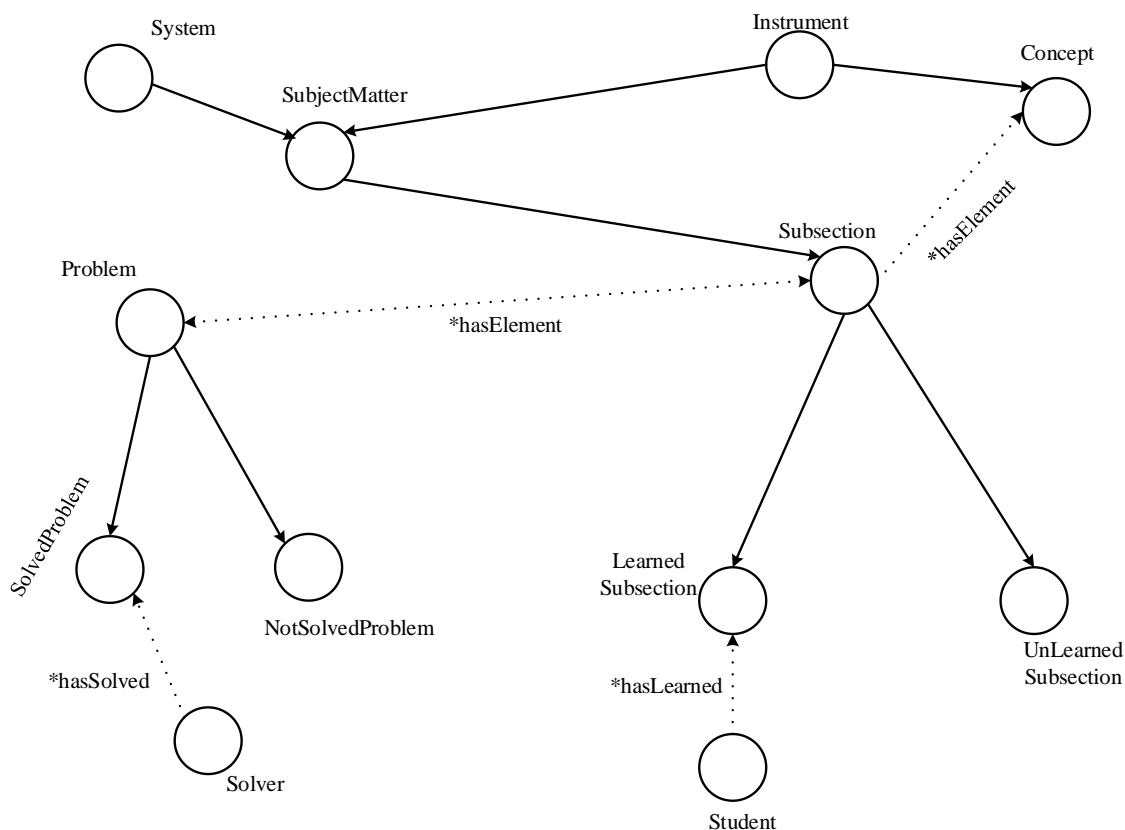
Hozirgi vaqtda butun dunyoda inson faoliyatining barcha sohalarida texnologiyalarning intellektuallashuvi jarayoni uzluksiz ravishda ortib bormoqda. Bu holat qisqa vaqt ichida o'z malakasini oshirish yoki qayta tayyorlanish imkoniyatiga ega bo'lgan yuqori malakali mutaxassislariga bo'lgan talabni yuzaga keltirmoqda. Shu munosabat bilan, zarurat tug'ilganda ishlab chiqarishdan ajralmagan holda, minimal vaqt va moddiy xarajatlar evaziga qo'shimcha bilimlarni egallay oladigan mutaxassislarning ahamiyati tobora ortib bormoqda. Nogironlik, vaqt yetishmasligi, ta'lim muassasasining uzoqligi, ta'limning yuqori narxi va boshqa omillar sababli o'z ta'lim ehtiyojlarini to'liq qondira olmayotgan shaxslar soni ham ortib bormoqda. Ushbu omillar ta'lim olishning yangi yo'llarini izlashga undab, kompyuter va tarmoq texnologiyalaridan keng foydalangan holda tashkil etiladigan masofaviy ta'limga (MT) bo'lgan e'tiborni kuchaytirmoqda.

Onlayn masofaviy ta'limni tashkil etishda ta'lim muhitini to'g'ri tanlash muammosi muhim ahamiyat kasb etadi, chunki noto'g'ri tanlov ta'lim samaradorligining pasayishiga olib keladi. Bu holat o'quv materialining noto'g'ri tushunilishi va yetarli darajada o'zlashtirilmashligi, ta'limga bo'lgan qiziqishning yo'qligi, bilimlarni noto'g'ri baholash hamda belgilangan ta'lim maqsadlariga erishilmashligi bilan izohlanadi. Masofaviy ta'lim rivoji davomida minglab o'quv ilovalari va o'quv dasturlari yaratilgan va foydalanishga joriy etilgan bo'lib, ular orasida eng keng tarqalganlari masofaviy ta'lim tizimlari (MTT) hisoblanadi. Masofaviy ta'lim tizimi deganda masofaviy ta'lim texnologiyalaridan foydalangan holda o'quv dasturlarini yaratish va amaliyotga tatbiq etishda ishtirok etuvchi tashkiliy, telekommunikatsion, pedagogik va ilmiy resurslar, shuningdek texnik vositalar majmuasidan iborat bo'lgan murakkab ko'p komponentli tizim tushuniladi.

Zamonaviy masofaviy ta'lim tizimlari, ilmiy tadqiqotlar natijalari va nashrlar tahlili shuni ko'rsatadiki, hozirgi kunda MTTlarda tashqi resurslarda saqlanayotgan bilimlar, o'quv materiallari va test topshiriqlarini to'plash jarayoni yetarli darajada avtomatlashtirilmagan. Tizimlarda muayyan predmet sohasi bo'yicha bilimlarni adekvat tavsiflaydigan va ularni keyingi masofaviy ta'lim jarayonida qo'llash imkonini beradigan model mavjud emas. Shuningdek, o'quvchi tizim bilan ishlashi davomida to'plangan individual xususiyatlari haqidagi bilimlarni hisobga olgan holda o'quv-uslubiy materiallar va nazorat test topshiriqlarini shakllantirish jarayoni ham yetarlicha avtomatlashtirilmagan. O'quv kursining tuzilmasi to'liq o'qituvchi tomonidan belgilanadi, bu esa masofaviy ta'limning moslashuvchanligini pasaytiradi va agar kurs ustida bir nechta o'qituvchi ishlasa, o'quv materialining mazmuni hamda belgilangan ta'lim maqsadlarining turlicha talqin qilinishiga olib keladi. Natijada, o'quv materiallarini avtomatlashtirilgan holda tanlashda individual yondashuvni va malakali yordamni ta'minlay oladigan yangi usullar hamda dasturiy vositalardan foydalanish zarurati yuzaga keladi.

## 2. Materiallar va usullar.

Masofaviy ta'lim tizimlarining predmet sohalarini bo'yicha bilimlarni adekvat tavsiflash imkonini beruvchi amaliy ontologiya 1-rasmda keltirilgan. Taklif etilgan amaliy ontologiya doirasida masalaviy yondashuvning quyidagi asosiy g'oyasini shakllantirish maqsadga muvofiq: **“masalani yechish uchun talaba ushbu masalani yechishda zarur bo'lgan barcha tushunchalarni o'zlashtirishi lozim.”**



1-rasm. “Problem, Subsection” ontologiyasi fragmentining semantik tarmog‘i

Deskriptiv mantiq formulalari bilan konstruktiv ishlashni ta’minlash maqsadida ifodalar ikki bo‘limga ajratilgan: **TBox** va **ABox**, ular mos ravishda amaliy ontologiyaning **abstrakt** va **konkret** tarkibiy qismlarini tavsiflaydi. Ta’limga mo‘ljallangan amaliy ontologiya formulalarining raqamlanishi **1-jadvalda** keltirilgan.

1-jadval. Ta’limga mo‘ljallangan amaliy ontologiya formulalarining raqamlanishi

No	Tushuncha / Konsept	Formal ta’rif (deskriptiv mantiq)
1	System	$= \forall \text{ hasElement.Element}$
2	Causa	$= \exists \text{ hasConsequence.Consequence}$
3	Instrument	$= \exists \text{ hasActor.Person} \cap \exists \text{ isApplied}^-. \text{Problem}$
4	Solver	$= \exists \text{ isSolved}^-. \text{Problem} \cap \text{Student}$
5	SolvedProblem	$= \exists \text{ isSolved}^-. \text{Problem} \cup \exists \text{ isSolved.Solver}$
6	NotSolvedProblem	$= \exists \text{ hasSolver}^-. \perp$
7	Problem	$= \exists \text{ isSolved}^-. \text{Problem} \cup \exists \text{ isSolved.Solver}$
8	SubjectMatter	$\subseteq \text{System} \cap \text{Instrument}$
9	SubjectMatter	$= \forall \text{ hasElement.Subsection}$
10	Subsection	$\subseteq \text{SubjectMatter}$
11	Problem	$\subseteq \text{SubjectMatter}$
12	Subsection	$= \forall \text{ hasElement.Problem} \cap \forall \text{ hasElement.Concept}$
13	LearnedSubsection	$= \text{Subsection} \cap (\exists \text{ hasLearned}^-. \text{Subsection} \cup \exists \text{ hasLearned.Student})$
14	UnLearnedSubsection	$= \text{Subsection} \cap \exists \text{ hasLearned}^-. \perp$

16	Student	$\subseteq$ Person
17	Process	= Dynamic
18	Learning	$\subseteq$ Process $\cap$ $\exists$ hasConsequence.SolvedProblem
19	Learn the Concept	= $\exists$ hasLearn.Concept
20	ProblemConcepts	= Concept $\cap$ $\forall$ isApplied.SolvedProblem
21	LearnProblemConcepts	= Learning $\cap$ $\forall$ hasLearn.ProblemConcepts

Ta'lim jarayonining formal tarkibiy qismi ta'lim vositalari majmuasidan iborat bo'lib, unga o'quv-uslubiy materiallar, qo'llanmalar, laboratoriya ishlari, stendlar hamda test topshiriqlari kiradi. Ta'lim sifatini sezilarli darajada pasaytirmagan holda ushbu vositalarni ikki asosiy qism to'plamga ajratish mumkin: **o'quv materiallari** va **test topshiriqlari**. Ushbu to'plamlar elementlarining o'zaro mosligi aniqligi ta'lim jarayonining sifatini belgilaydi. Har ikkala to'plam ham o'xshash tuzilishga ega bo'lib, ularning asosi bo'lgan tushunchalarning bazaviy to'plamlariga tayanadi.

### 3. Natijalar va Muhokama.

Matematik nuqtai nazardan o'quv materialining strukturaviy elementlarini test topshiriqlarining mos strukturaviy elementlariga turli xil akslantirishlarni ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir. Ushbu akslantirishlar ichida eng maqbul variant sifatida bazaviy to'plamlar elementlari o'rtasida bir qiymatli va o'zaro moslikni ta'minlaydigan **izomorfizm** taklif etiladi. Ontologiyalar izomorfizmini matematik jihatdan qat'iy tavsiflash uchun ushbu ontologiyalarning to'g'ri tuzilgan formulalari (TTF) to'plami tartiblangan juftliklar (C,F) to'plami sifatida qaraladi, bunda C — **konseptlar to'plami**, F esa **TBox bo'limidagi formulalar to'plami**ni ifodalaydi. Shunday qilib,  $C \times F$  iniversiyasi yordamida deskripsiya munosabati  $Rd \subseteq C \times F$  aniqlanadi.

Keyingi bosqichda ushbu munosabatning faqatgina o'ng tomoni, ya'ni F qismi, munosabatning ikkinchi argumentiga proeksiya sifatida qaralishi mumkin. Bunda F qismidagi to'g'ri tuzilgan formulalar ifodalari C to'plamidagi  $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$  elementlarning chekli kompozitsiya amallari natijasi sifatida tasvirlanadi. Ushbu ifodalar konseptlar nomlari  $c_j$  dan deskriptiv mantiqqa xos bo'lgan maxsus belgilar yordamida hosil qilinadi:  $\{\subseteq, =, \neg, \forall, \exists, \cup, \cap, \cdot, -\}$ . Kompozitsiya amallari  $\Omega$  ning semantikasi, ushbu amallarning F to'plamida yopiq ekanligini hisobga olgan holda, **2-jadvalda** keltirilgan.

2-jadval. To'g'ri tuzilgan formulalar (TTF) kompozitsiya amallari

No	$\Omega$ to'plamidan operatsiya belgilanishi	Operatsiya semantikasi (natijasi)
1	$\omega \cap (F_i, F_j)$	$F_i \cap F_j$
2	$\omega \cup (F_i, F_j)$	$F_i \cup F_j$
3	$\omega \exists R_i (c_j)$	$\exists R_i \cdot c_j$
4	$\omega \forall R_i (c_j)$	$\forall R_i \cdot c_j$
5	$\omega \forall R_i^- (c_j)$	$\forall R_i^- \cdot c_j$
6	$\omega \exists R_i^- (c_j)$	$\exists R_i^- \cdot c_j$
7	$\omega \bullet (c_i)$	$c_i$

To'g'ri tuzilgan formulalar (TTF) doirasida ontologik ta'riflarning chap va o'ng qismlarini bog'lovchi ikkita munosabatni ajratib ko'rsatish mumkin:  $\{\subseteq, =\}$ , Kiritilgan belgilashlarga muvofiq, ontologiyaning TTF to'plami ustida quyidagi algebraik sistema aniqlanadi:  $A = \langle F, \Omega, \{\subseteq, =\} \rangle$ .



Mazkur algebraik sistema A doirasida o'z tashuvchi to'plamlariga nisbatan yopiq bo'lgan qismalgebralarni ajratish mumkin. Xususan,  $\langle F, \Omega \rangle$  uchun ikkita qismalgebra G va D quyidagicha aniqlansin:  $G = \langle F_g, \Omega_g \rangle$ ,  $D = \langle F_d, \Omega_d \rangle$ .

Bu holda quyidagi munosabatlar o'rinlidir:  $F_g \subseteq F$ ,  $\Omega_g \subseteq \Omega$ ,  $F_d \subseteq F$ ,  $\Omega_d \subseteq \Omega$ .

Shuningdek, ushbu qismalgebralarni bir xil tipdagi algebra deb faraz qilamiz.

G va D algebralari bir xil tipdagi algebralarni hisoblanadi. G va D algebralari gomomorf bo'ladi, chunki quyidagi shartni qanoatlantiruvchi akslantirish mavjud:

$$\Gamma: M_g \rightarrow M_d, \quad \Gamma(\omega_g(f_{g1}, f_{g2})) = \omega_d(\Gamma(f_{g1}), \Gamma(f_{g2})), \quad (1)$$

bu yerda  $f_{d1}, f_{d2} \in F_d$  unda G va D algebralari **izomorf**, ya'ni **bir qiymatli gomomorf** hisoblanadi.

Shuningdek, ushbu qismalgebralarni bir xil tipdagi algebra deb faraz qilamiz.

Bundan tashqari, G va D algebralari tashuvchi to'plamlarining barcha elementlari uchun aniqlanayotgan har bir konseptning algebraik tizimlarida  $\{\subseteq, =\}$  munosabatlariga muvofiqlik talab qilinadi. Ya'ni, agar G algebrasidagi biror konsept yakuniy tavsifda  $\subseteq$  munosabati orqali bog'langan bo'lsa, unga mos keluvchi D algebrasidagi konsept ham  $\subseteq$  munosabati yordamida tavsiflanishi lozim. Agar G algebrasidagi konseptni tavsiflashda tenglik munosabati = qo'llanilgan bo'lsa, D algebrasidagi mos konsept ham tenglik orqali ifodalanishi kerak.

### (2)-tenglama (1)-tenglamaga quyidagi tarzda keltiriladi.

1. (1)-shartda chap tomonlarni o'ng tomonlarga almashtiramiz:

$$w_g(\Gamma(f_{g1}), \Gamma(f_{g2})) = \Gamma(w_g(f_{g1}, f_{g2})).$$

2. Hosil bo'lgan tenglamaning har ikki tomoniga  $\Gamma^{-1}$  akslantirishni qo'llaymiz:

$$\Gamma^{-1}(w_d(\Gamma(f_{g1}), \Gamma(f_{g2}))) = \Gamma^{-1}(\Gamma(w_g(f_{g1}, f_{g2}))) = w_g(f_{g1}, f_{g2})$$

$\Gamma(f_{gi}) = f_{di}$ ,  $f_{di} \in F_d$ , bo'lganligi sababli,  $f_{gi} = \Gamma^{-1}(f_{di})$  ekanligi kelib chiqadi. Shunday qilib, quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$w_g(\Gamma^{-1}(f_{d1}), \Gamma^{-1}(f_{d2})) = \Gamma^{-1}(w_d(f_{d1}, f_{d2})).$$

Izomorf bo'lgan G va D algebralarning asosiy tashuvchi to'plamlarining quvvatlari o'zaro teng bo'ladi. Demak, G va D algebralari o'rtasidagi izomorfizm o'ziga izomorfizm, ya'ni avtomorfizm sifatida talqin qilinadi.

Ontologiyalarning ikki lokal fragmenti o'rtasidagi izomorfizmning konstruktiv isboti mos keluvchi to'g'ri tuzilgan formulalarning (TTF) konseptlar mosligini aniqlash darajasigacha bo'lgan to'liq strukturaviy mosligi sifatida qaralishi mumkin. Amaliy ontologiyalardagi izomorfizm o'quv tizimlarida "Material-Test" juftliklarini qo'llash imkonini beradi hamda ontologiyaning ABox bo'limiga o'quv materiallarini avtomatik tanlash jarayonida shunga o'xshash isbotlardan foydalanish uchun asos yaratadi.

Axborot omborlari asosida shakllantiriladigan ontologiyaning ABox bo'limlari izomorfizmini avtomatik tarzda isbotlash uchun ikki yangi mexanizmdan foydalanish zarur bo'ladi. Ushbu mexanizmlar "tezaurus" va "unifikatsiya" tushunchalari orqali ifodalanadi.

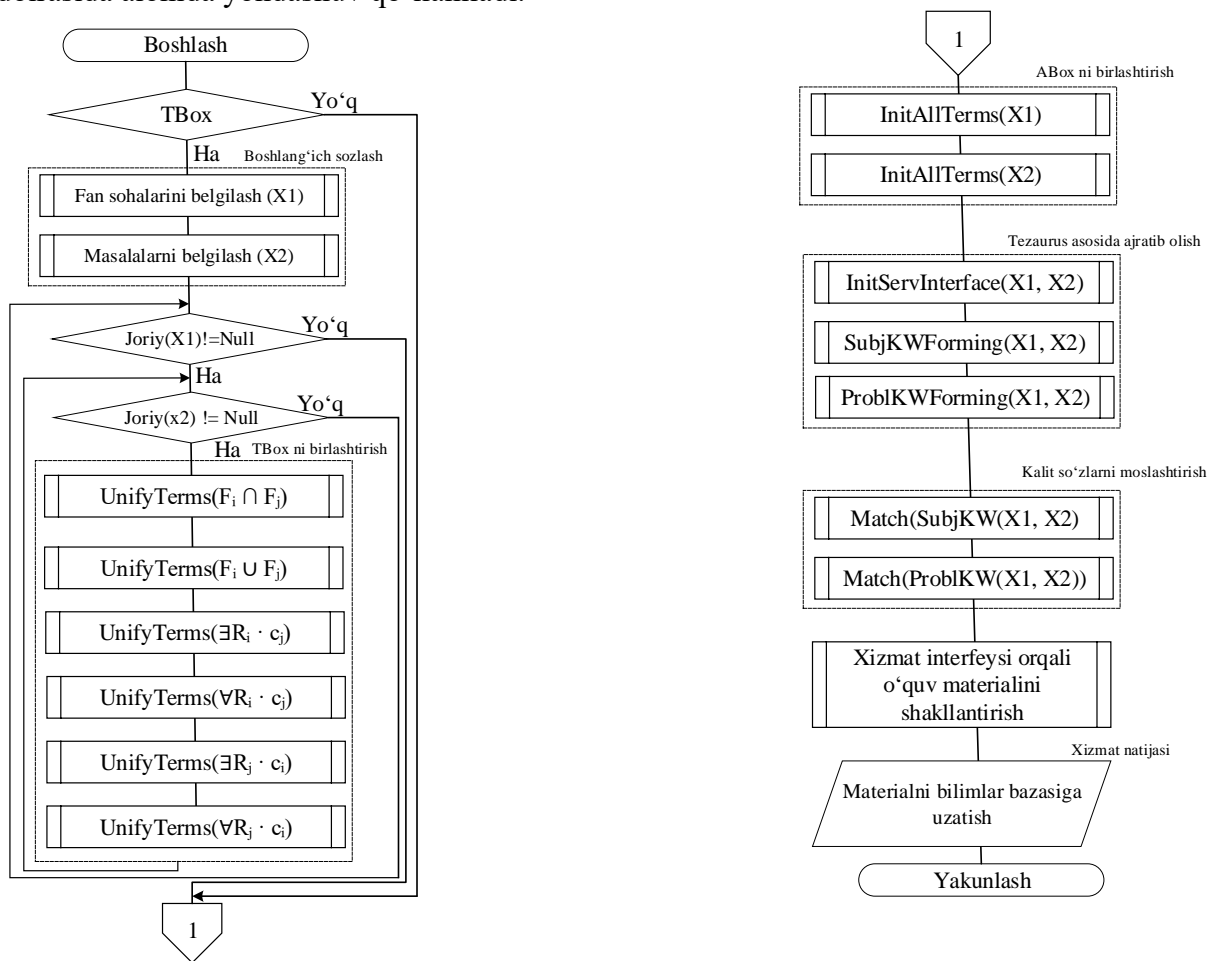
Tezaurus deganda, tarkibiga kiruvchi har bir leksik birlik uchun kamida bitta tur-jins (giperonimiya) munosabati, sinonimiya, ehtimol antonimiya hamda tezaurus administratori tomonidan belgilanishi mumkin bo'lgan boshqa semantik munosabatlarni o'z ichiga olgan kontseptual lug'at tushuniladi. Bunda tur-jins munosabati leksik birlikning yanada umumiy

tushuncha bilan bog‘lanishini, ya’ni taksonomik ierarxiyadagi o‘rnini ifodalaydi. Taklif etilayotgan tezaurusdagi leksik birlikning tuzilmasi quyidagicha aniqlanadi:

Leksik birlik nomi + [Normal shakl] + [Ildiz asos] + [Ajod leksik birlik] + {[Antonim]} + {[Sinonim]}

Ontologik tavsiflarni unifikatsiyalash deganda, boshlang‘ich tavsiflarni qayta tashkil etish orqali ikki xil tavsifni ularga ekvivalent bo‘lgan yagona tavsifga keltirishga qaratilgan jarayon tushuniladi. Bu yerda terminlar sifatida predmet sohani tavsiflovchi deskriptiv mantiqning to‘g‘ri tuzilgan formulalari qaraladi. Ontologiyalarda unifikatsiyani amalga oshirish uchun barcha tarkibiy qismlar bo‘yicha ekvivalentlik va o‘xshashlik sinflari aniqlanadi.

Unifikatsiya algoritmi (2-rasm) ikki ontologik tavsif o‘rtasida mavjud bo‘lgan barcha munosabatlarni aniqlashni maqsad qiladi. Bunda tavsiflarning amaliy qismi amaliy formulalar to‘plami asosida unifikatsiyalanishi mumkin bo‘lsa, masalaviy ontologiya uchun ABox bo‘limi doirasida alohida yondashuv qo‘llaniladi.



2-rasm — Ontologiya bo‘limlari terminlarini unifikatsiyalash algoritmi

Ushbu rasmda algoritm blok-sxemasida qo‘llanilgan InitAllTerms, UnifyTerms, Match kabi ingliz tilidagi atamalar mos ravishda terminlarni boshlang‘ich yuklash, ontologik elementlarni birlashtirish hamda kalit so‘zlarni moslashtirish jarayonlarini ifodalaydi.

Mazkur jarayonda **tezaurus leksik birliklaridagi ekvivalentlik sinflari aniqligi darajasida konseptlar o‘rtasidagi munosabatlardan foydalanadigan algoritm qo‘llanilishi lozim.**

Algoritmning boshlang‘ich bosqichida **TBox** bo‘limiga mansub mos keluvchi bo‘limlar ( $A_1$  va  $A_2$ ) o‘rtasidagi izomorfizm tekshiriladi. Buning uchun terminlarni birlashtirish va kesish



amallariga asoslangan ontologik tavsiflar, shuningdek, konseptlar o'rtasida o'zaro akslantiriluvchi xususiyatlarning mavjudligi **simmetrik gomomorfizm** nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Tekshiruv jarayonida  $A_1$  va  $A_2$  bo'limlariga tegishli barcha to'g'ri tuzilgan formulalar (TTF) bo'yicha to'liq ko'rib chiqishni ta'minlovchi ichma-ich sikllardan foydalaniladi.

TBox bo'limlari unifikatsiyalash imkoniyatiga ega ekanligi aniqlangach, mos keluvchi  $A_1$  va  $A_2$  bo'limlariga tegishli **ABox** qismlarining unifikatsiyasi amalga oshiriladi, bu TTF konstruksiyalarining izomorfizmini isbotlash vazifasini bajaradi.

Algoritmning yakuniy bosqichida kalit so'zlar amaliy ontologiya tavsiflari orqali aniqlangan sintaktik bog'lanishlar agregatsiyasida mavjudligi bo'yicha o'zaro solishtiriladi. Taklif etilgan unifikatsiya algoritmi yetarlicha samarali bo'lib, **moslashuvchanlik xususiyatiga ega**, chunki u tezaurusdagi ekvivalentlik sinflarini moslashtirish orqali leksik birliklarning mazmuniy qismini tanlash aniqligini boshqarish imkonini beradi.

O'quvchiga test topshirig'ini taklif etishdan avval, ushbu topshiriqni bajarish mumkin bo'lgan ta'limiy vaziyatning barcha asosiy elementlari ta'minlanishi zarur, jumladan:

- o'quvchiga test topshirig'ini bajarish uchun mazmunan yetarli bo'lgan o'quv-uslubiy material taqdim etilishi;
- o'quv-uslubiy material o'quvchining tayyorgarlik darajasiga mos bo'lishi, ya'ni materialning to'g'ri tushunilishi va o'zlashtirilishini ta'minlashi;
- materialning bayon shakli, murakkablik darajasi va tafsilotlar chuqurligi o'quvchining psixologik shaxs tipi bilan mos kelishi;
- muayyan vaqt momentida taklif etilayotgan test topshirig'i psixologik shaxs tipi hisobga olingan holda o'quvchining tayyorgarlik darajasiga mos bo'lishi;
- taqdim etilayotgan o'quv materiallari va test topshiriqlari ketma-ketligi o'quvchining psixologik shaxs tipiga muvofiq shakllantirilishi.

O'quv materiallarini tanlash va individual o'qitish traektoriyasini shakllantirish jarayonida quyidagi funksiyalardan foydalaniladi:

$MCom(m_i): m_i \rightarrow [0,1]$  — o'quv-uslubiy material birligi  $m_i$  ning murakkablik darajasini aniqlash funksiyasi:

$$MCom(m_i) = \frac{|M'(C_{req})|}{|C_{chapt}|},$$

bu yerda  $|M'(C_{req})|$  — o'quv-uslubiy material birligi uchun zarur bo'lgan tushunchalar to'plamining quvvati;  $|C_{chapt}|$  — kurs bo'yicha barcha tushunchalar to'plamining quvvati.

$PCom(p_i): p_i \rightarrow [0,1]$ , — test topshirig'i  $p_i$  ning murakkablik darajasini aniqlash funksiyasi:

$$PCom(p_i) = \frac{|P'(C_{req})|}{|C_{chapt}|},$$

bu yerda  $|P'(C_{req})|$  — test topshirig'ini bajarish uchun talab etiladigan tushunchalar to'plamining quvvati.

$MType(m_j, tm_k) : m_j \times tm_k \rightarrow [0,1]$  — o'quv materiali  $m_j$  ning ma'lum psixologik tip  $tm_k$  tomonidan o'zlashtirilish darajasini aniqlovchi funksiya:

$$MType(m_j, tm_k) = \sum_{i=1}^{|Tm|} MAcc(m_j, tm_{k,i}) / |Tm|,$$

bu yerda  $MAcc$  — o‘quv materiali  $m_j$  ning shaxs tipi xususiyati  $mt_{k,i}$  ga mosligini aniqlovchi funksiya;  $Tm$  — o‘quv materiali birligi xususiyatlari to‘plamining quvvati.

$PType(p_j, tp_k): p_j \times tp_k \rightarrow [0, 1]$ , — test topshirig‘i  $p_j$  ning psixologik tip  $tp_k$  tomonidan bajarilish darajasini aniqlovchi funksiya:

$$PType(p_j, tp_k) = \sum_{i=1}^{|Tp|} PAcc(p_j, tp_{k,i}) / |Tp|$$

bu yerda  $PAcc$  — test topshirig‘i  $p_j$  ning shaxs tipi xususiyati  $tp_{k,i}$  ga mosligini aniqlovchi funksiya;  $|Tp|$  — o‘quvchining psixologik shaxs tipini aniqlashda foydalaniladigan test topshirig‘i xususiyatlari to‘plamining quvvati.

$PSem(c_i, p_j): c_i \times p_j \rightarrow [0, 1]$  — har bir tushuncha  $c_i$ , ning o‘quv-uslubiy material birligi  $m_j$  ga moslik darajasini aniqlovchi funksiya:

$$MSem(c_i \times p_j) = \frac{1}{|Mc_{view}|}, c \in Mc_{view},$$

bu yerda  $|Mc_{view}|$  — o‘quv-uslubiy material birligi tarkibida ko‘rib chiqilgan tushunchalar to‘plamining quvvatini bildiradi.

$PSem(c_i, p_j): c_i \times p_j \rightarrow [0, 1]$  — har bir tushuncha  $c_i$  ning tanlanayotgan test topshirig‘i  $p_j$  ga moslik darajasini aniqlovchi funksiya:

$$PSem(c_i, p_j) = \frac{1}{(|Pc_{view}| + |Pc_{serv}|)}, \quad c_i \in Pc_{view} \vee c_i \in Pc_{serv},$$

bu yerda  $|Pc_{view}|$  — test topshirig‘ida bevosita ko‘rib chiqilgan tushunchalar to‘plamining quvvatini bildiradi.

$MVal(m_i): m_i \rightarrow [0, 1]$  — o‘quv-uslubiy material birligi  $m_i$  ning **muhimlik darajasini** aniqlovchi funksiya:

$$MVal(m_i) = |Mc_{req} = Mc'_{view}| / |M|,$$

bu yerda  $|Mc_{req} = Mc'_{view}|$  — ko‘rib chiqilgan tushunchalari **talab etiladigan** bo‘lgan o‘quv-uslubiy material birliklari to‘plamining quvvati;  $|M|$  — kurs bo‘yicha **barcha o‘quv materiallari** to‘plamining quvvati.

$PVal(p_i): p_i \rightarrow [0, 1]$ , — test topshirig‘i  $p_i$  ning **muhimlik darajasini** aniqlovchi funksiya:

$$PVal(p_i) = |Mc_{req} = Mc''_{view}| / |M|$$

bu yerda  $|Mc_{req} = Mc''_{view}|$  — joriy test topshirig‘ida ko‘rib chiqilgan tushuncha **zarur bo‘lgan** o‘quv-uslubiy material birliklari to‘plamining quvvati;  
-  $CSt(c_i, s_j): c_i \times s_j \rightarrow [0, 1]$  o‘quvchi  $s_j$  tomonidan predmet soha tushunchasi  $c_i$  ning **o‘zlashtirilish darajasini formal ifodalovchi** ifoda:

$$CSt(c_i, s_j) = |Pc_{view} = c_i| / |Pc'_{view} = c_i|$$



bu yerda  $|P_{c_{view} = c_i}|$  —  $s_j$ -o‘quvchi tomonidan yechilgan test topshiriqlari orasida joriy tushuncha  $c_i$  ko‘rib chiqilgan holatlar to‘plamining quvvati;  $|P_{c'_{view} = c_i}|$  —  $s_j$  - o‘quvchi tomonidan yechilgan va yechilmagan test topshiriqlari ichida joriy tushuncha  $c_i$  ko‘rib chiqilgan holatlar to‘plamining quvvati.

-  $TSt(t_i, s_j): t_i \times s_j \rightarrow [0, 1]$  o‘quvchi  $s_j$  ning muayyan **psixologik shaxs tipi**  $t_i$  ga mansublik darajasini formal ifodalovchi ifoda:

$$TSt(t_i, s_j) = \frac{|P_{stud,j}|}{\sum_{k=1}^{|P_{stud,j}|} Ptype(p_k, tp_i)}$$

bu yerda  $|P_{stud,j}|$  — **j-o‘quvchi** ( $s_j$ ) tomonidan **yechilgan barcha test topshiriqlari** to‘plamining quvvatini bildiradi.

Zarur o‘quv materiallarini  $M^+ \subseteq M$  quyi to‘plam sifatida hamda test topshiriqlarini  $P^+ \subseteq P$  quyi to‘plam sifatida tanlash maqsadi quyidagi ifoda orqali tavsiflanadi:

$$\{M^+, P^+ : m_i, p_t | \forall m_i \in M, \forall p_i \in P, Mtype(m_i, tm_k) > \min_{j=1}^n(m_j) \& PType(p_v, tp_k) > \min_{v=1}^m(p_v)\}$$

bu yerda  $\min$  amali  $M$  va  $P$  to‘plamlarining elementlarini muayyan shaxs tipiga mosligi bo‘yicha tanlashda qo‘llaniladigan tegishlilik chegarasini belgilaydi.

Quyidagi ifodalar to‘plami esa o‘quvchining tayyorgarlik darajasi hamda masalalar murakkabligiga asoslangan holda test topshiriqlari  $P^* \subseteq P$  quyi to‘plam sifatida, o‘quv materiallari esa  $M^* \subseteq M$  quyi to‘plam sifatida tanlanishini tavsiflaydi:

$$\{P^* : p_t | \forall c_i \in C, \forall p_t \in P, \exists s_j TSt(t_r, s_j) > \min_{r=1}^m(t_r) \& CSt(c_i, s_j) > \min_{i=1}^n(c_i) \& Psem(c_i, p_t) > \min_{i=1}^n(p_t)\}, \\ \{M^* : m_t | \forall c_i \in C, \forall m_i \in M, \exists s_j TSt(t_r, s_j) > \min_{r=1}^m(t_r) \& CSt(c_i, s_j) > \min_{j=1}^n(c_j) \& MSem(c_j, m_t) > \min_{t=1}^m(m_t)\}$$

Yakuniy o‘quv materiallari  $M^0$  va test topshiriqlari  $P^0$  to‘plamlarini aniqlash uchun hosil qilingan quyi to‘plamlarning kesishmasini hisoblash zarur:

$$M^0 = M^* \cap M^+, \quad P^0 = P^* \cap P^+$$

Natijada hosil bo‘lgan to‘plamlar muayyan psixologik tipga ega bo‘lgan o‘quvchi uchun maxsus tanlangan o‘quv-uslubiy materiallar hamda test topshiriqlarini, shuningdek mazkur o‘quvchi tomonidan o‘zlashtirilishi lozim bo‘lgan predmet soha tushunchalarini o‘z ichiga oladi.

Topshiriqlar va o‘quv materiallari tanlanishini shakllantirishning yakuniy bosqichi sifatida  $M^0$  va  $P^0$  to‘plamlari elementlarini tartiblash orqali individual o‘qitish traektoriyasini shakllantirish bosqichi amalga oshiriladi.

$$CortM(m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_k) : \forall m_i, m_{i+1} MCom(m_i) \leq MCom(m_{i+1}), \\ CortP(p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_t) : \forall p_j, p_{j+1} PCom(p_j) \leq PCom(p_{j+1})$$

bu yerda **CortM** va **CortP** mos ravishda **o‘quv materiallarini tanlash ketma-ketligi** hamda **test topshiriqlarini taqdim etish ketma-ketligi** ifodalovchi kortejlardir.

#### 4. Xulosa.

Masofaviy ta'lim tizimlarining mavjud turlariga xos bo'lgan kamchiliklar aniqlandi hamda tayyor o'quv-uslubiy materiallar va test namunalari saqlovchi mavjud axborot omborlari asosida bilimlar bazalarini shakllantirish uchun avtomatlashtirilgan vositalarni yaratish vazifasining dolzarbligi asoslab berildi.

Keyingi masofaviy ta'lim jarayonlarida qo'llash uchun mo'ljallangan predmet sohalari bo'yicha bilimlarni adekvat tarzda tavsiflash imkonini beruvchi original ontologik bilim modeli ishlab chiqildi.

O'quvchining psixologik modeliga yo'naltirilgan o'qituvchi resurslarni sintez qilish masalasi qo'yildi. Ushbu yangi qo'yilmada o'quvchi tomonidan predmet sohaga oid tushunchalarni samarali o'zlashtirish uchun yetarli bo'lgan o'quv materiallarini tanlash tamoyillari formal tarzda bayon etildi.

Predmet sohaga oid bilimlar modeli sifatida ontologiyalardan hamda o'quvchining shaxsiy xususiyatlarini hisobga oluvchi individual o'qitish traektoriyasidan foydalanishga asoslangan holda o'quv materiallari va test topshiriqlarini shakllantirish jarayoni ishlab chiqildi.

#### 5. Adabiyotlar.

1. Медведев Р.Е. Изоморфизм в онтологической модели знаний интеллектуальной системы дистанционного обучения // Вестник РГРТУ. 2013. №45. С. 62-65.
2. Якубов, М. С. (2023). Таълим Тизимида Электрон Хужжат Айланишини Такомиллаштириш Омили. *Barqarorlik Va Yetakchi Tadqiqotlar Onlayn Ilmiy Jurnal*, 3, 145-149.
3. Якубов, М. С. (2023). Таълим Соҳасида Электрон Хужжат Айланиш Тизимини Жорий Этишнинг Ўзига Хос Хусусиятлари: Specific Characteristics Of The Implementation Of The Electronic Document Circulation System In The Field Of Education. *Молодой специалист*, 2, 45-53.
4. Бекмухаммедов, Б., & Тохтасинов, А. (2025). Разработка моделей дистанционного обучения в системе непрерывного профессионального образования. *yangi o'zbekiston, yangi tadqiqotlar jurnali*, 3(1), 99-105.
5. Бекмухаммедов, Б. (2025). Artificial intelligence and machine learning technologies in forming online education systems. *Международный мультидисциплинарный журнал исследований и разработок*, 1(3), 230-235.
6. Leontyeva, I. A. (2018). Modern distance learning technologies in higher education: Introduction problems. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(10), em1578. <https://doi.org/10.29333/ejmste/92284>.
7. Lytvynov, D. (2019). *Distance education as a form of education organization. Scientific Text*, 84-87.
8. Bekmukhammadov, B. (2024). The Development Strategy And Importance Of Online Education System. *DTAI-2024*, 1(DTAI), 436-439.
9. Якубов, М. С. (2024). Таълим Тизимида Электрон Хужжат Айланишини Ташкил Этиш Тамойиллари. *Pedagogs*, 54, 113-118.
10. Якубов, М. С. (2024). Таълим Тизимида Структуралашган Маълумотлар Алмашинувининг Ўзига Хос Хусусиятлари. *Iqro Indexing*, 8(2), 247-254.



## DPI TEXNOLOGIYASI MISOLIDA TARMOQ XAVFSIZLIGI ALGORITMLARINI TADQIQ QILISH

*Ismoilov Azamat Parxatovich<sup>1</sup>, Akmuradov Baxtiyor Uralovich<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>UMFT magistranti, a.ismoilov@gmail.com

<sup>2</sup>UMFT, Kommunikatsiya va axborot texnologiyalar kafedrasini mudiri,  
b.u.akmuradov@gmail.com

**Annotatsiya.** Mazkur ishda paketlarni chuqur tahlil qilish (Deep Packet Inspection) texnologiyasi asosida telekommunikatsiya tarmoqlarida xavfsizlik algoritmlarini takomillashtirish masalasi tadqiq etilgan. Ishda DPI texnologiyasining nazariy asoslari va axborot xavfsizligidagi o'rnini yoritilib, tahdidlarni aniqlashda Naive Bayes hamda Support Vector Machine (SVM) algoritmlarining qo'llanilishi o'rganilgan. Trafik atributlari tanlanib, modellar optimallashtirilgan va eksperimental sinovlar orqali ularning aniqlik hamda samaradorligi baholangan.

**Kalit so'zlar:** Deep Packet Inspection, algoritmi, IoT, tarmoq xavfsizligi, mashinaviy o'qitish.

**Аннотация:** В данной работе исследуется задача совершенствования алгоритмов безопасности в телекоммуникационных сетях на основе технологии глубокого анализа пакетов (Deep Packet Inspection, DPI). Рассмотрены теоретические основы технологии DPI и её роль в обеспечении информационной безопасности, а также изучено применение алгоритмов Naive Bayes и Support Vector Machine (SVM) для выявления угроз. Проведён отбор атрибутов сетевого трафика, выполнена оптимизация моделей и на основе экспериментальных испытаний оценены их точность и эффективность.

**Ключевые слова:** Deep Packet Inspection, алгоритм, IoT, сетевая безопасность, машинное обучение.

**Abstract:** This study investigates the improvement of security algorithms in telecommunication networks based on Deep Packet Inspection (DPI) technology. The theoretical foundations of DPI and its role in information security are discussed, and the application of Naive Bayes and Support Vector Machine (SVM) algorithms for threat detection is examined. Traffic features were selected, the models were optimized, and their accuracy and efficiency were evaluated through experimental testing.

**Keywords:** Deep Packet Inspection, algorithm, IoT, network security, machine learning.

### 1. Kirish

Zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarida ma'lumotlar oqimining hajmi, tezligi va tarkibiy murakkabligi keskin ortib bormoqda. 5G va istiqboldagi 6G texnologiyalarining joriy etilishi, "Internet of Things" qurilmalarining ommalashuvi, bulutli hisoblash xizmatlari, mobil ilovalar hamda yuqori aniqlikdagi multimedia oqimlarining keng qo'llanilishi tarmoq infratuzilmasiga tushayotgan yuklamani sezilarli darajada oshirmoqda. Bunday sharoitda tarmoqlarda shakllanayotgan trafik nafaqat hajm jihatidan katta, balki protokollar, xizmatlar va ilovalar xilma-xilligi nuqtayi nazaridan ham murakkablashmoqda. Shu bilan birga, kiberxavfsizlik tahdidlarining soni va ko'lami ortib, zararli dasturlar, botnetlar, DDoS hujumlar, ma'lumotlarni yashirin uzatish kanallari kabi xavf-xatarlar tobora murakkab va adaptiv tus olmoqda. An'anaviy portga yoki sarlavha maydonlariga asoslangan aniqlash va filtrlash mexanizmlari ko'plab zamonaviy hujum turlarini aniqlashda yetarli darajada samarali emasligi amaliyotda kuzatilmoqda. Ayniqsa, trafikning katta qismi shifrlangan protokollar orqali uzatilayotgan sharoitda zararli faoliyatni aniqlash masalasi yanada dolzarblashmoqda.

Paketlarni chuqur tahlil qilishga asoslangan yondashuvlar tarmoqdagi ma'lumotlarni ko'p qatlamli darajada o'rganish imkonini berib, tahdidlarni aniqlash jarayonini sifat jihatdan yangi bosqichga olib chiqadi. Biroq bunday texnologiyalarni samarali qo'llash uchun ularning asosida ishlovchi xavfsizlik algoritmlarini ilmiy jihatdan takomillashtirish, hisoblash samaradorligini oshirish va real vaqt rejimida ishlash imkoniyatini ta'minlash zarur. Statistik usullar, signatura asosidagi mexanizmlar hamda mashinaviy o'qitish yondashuvlarini uyg'unlashtirish orqali aniqlikni oshirish, noto'g'ri aniqlash ko'rsatkichlarini kamaytirish va adaptiv xavfsizlik tizimlarini yaratish imkoniyati mavjud. Shu bilan birga, shifrlangan trafik sharoitida metama'lumotlar va oqim xususiyatlariga asoslangan tahlil usullarini rivojlantirish, hisoblash resurslaridan optimal foydalanish hamda maxfiylik va huquqiy talablarni inobatga olish muhim ilmiy muammo bo'lib qolmoqda. Mazkur yo'nalishdagi tadqiqotlar telekommunikatsiya infratuzilmasining barqaror ishlashini ta'minlash, xizmat sifati va axborot xavfsizligini oshirish hamda milliy kiberxavfsizlik salohiyatini mustahkamlash nuqtayi nazaridan alohida ahamiyat kasb etadi.

## 2. Adabiyotlar tahlili

Ilmiy tadqiqotlar telekommunikatsiya tarmoqlari xavfsizligi va paketlarni chuqur tahlil qilish yo'nalishida nazariy hamda amaliy yondashuvlarning izchil rivojlanishini namoyon etadi. Xususan, Sahami va hammualliflar Bayes ehtimollik nazariyasiga asoslangan spam filtrlash modelini taklif etib, probabilistik yondashuv DPI tizimlarida boshlang'ich filtr sifatida samarali qo'llanishi mumkinligini isbotlagan[1]. Nguyen va Armitage esa mashinaviy o'qitish asosidagi trafik tasniflash usullarini tizimli tahlil qilib, DPI yondashuvi an'anaviy port va signatura usullariga nisbatan yuqori aniqlik berishini ko'rsatgan[2]. Shu bilan birga, Kim, Lee va Kim tomonidan taklif etilgan gibril IDS modeli anomaliya va signatura asosidagi algoritmlarni birlashtirib, noto'g'ri musbat aniqlashlarni kamaytirishga erishgan[3].

Chuqur o'rganish asosidagi yondashuvlar ham mazkur yo'nalishda muhim o'rin egallaydi. Conti va hammualliflar CNN va RNN modellarini DPI bilan integratsiya qilib, murakkab trafik naqshlarini aniqlashda yuqori samaradorlikka erishgan[4]. Zhang va Chen SVM algoritimga asoslangan IDS modelini ishlab chiqib, zararli trafikni aniqlash aniqligini oshirganini ko'rsatgan[5]. Shuningdek, Shbair va Francois shifrlangan trafikni mashinaviy o'qitish yordamida tahlil qilish mumkinligini asoslab bergan bo'lsa, Xu, Zhang va Zawoad real vaqt sharoitida anomaliyalarni aniqlash imkoniyatlarini ilmiy jihatdan tasdiqlagan[6,7].

Nazariy va konseptual yondashuvlar nuqtayi nazaridan Anderson tarmoq xavfsizligi muhandisligi konsepsiyasini ishlab chiqib, DPI ni ishonchli tizimlar qurishda muhim komponent sifatida talqin etgan. Conti va Gangwal DPI algoritmlarining evolyutsiyasini sharhlab, signatura asosidan sun'iy intellektga asoslangan adaptiv tizimlarga o'tish jarayonini ko'rsatgan[11]. Dehghantaha va Choo esa DPI ni sun'iy intellekt va blokcheyn texnologiyalari bilan integratsiya qilish istiqbollarni tahlil qilgan[12]. Bundan tashqari, Wang va Zhu CNN asosidagi model yordamida yuqori aniqlikka ega zararli trafik aniqlash algoritmini ishlab chiqqan, Xu va Li esa transformer modellarining shifrlangan trafikni aniqlashdagi ustunligini ko'rsatgan[18].

### *DPI asosida abonentlarni tahlil qilish metodoloyasi*

So'nggi yillarda global internet trafigining jadal sur'atlarda ortib borishi va foydalanuvchilar tomonidan turli xil tarmoq xizmatlaridan faol foydalanilishi telekommunikatsiya operatorlari va tarmoq administratorlari oldiga yangi vazifalarni qo'yimoqda. Xususan, tarmoq resurslarini samarali boshqarish, xizmat sifatini (QoS) ta'minlash, abonentlarning xulq-atvorini chuqur tushunish hamda tarmoqdagi g'ayrioddiy va zararli faoliyatlarni o'z vaqtida aniqlash dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Ushbu muammolarni hal etishda tarmoq trafigini an'anaviy sarlavha darajasida tahlil qilish ko'plab holatlarda yetarli bo'lmay qolmoqda.

Shu nuqtai nazardan, Deep Packet Inspection (DPI) texnologiyasi tarmoq trafigini yanada chuqurroq o'rganish imkonini beruvchi muhim vosita sifatida qaraladi. DPI texnologiyasi



paketlarning nafaqat sarlavha qismini, balki foydali yuk qismini ham tahlil qilish orqali tarmoqda uzatilayotgan ilovalar, xizmatlar va foydalanuvchi faoliyati haqida batafsil axborot olish imkonini beradi. Natijada tarmoq operatorlari abonentlarning real foydalanish xususiyatlarini aniqlashi, trafikni xizmat toifalari bo'yicha guruhlashlari va tarmoq siyosatlarini yanada aniqroq shakllantirishlari mumkin bo'ladi.

Zamonaviy tarmoqlarda foydalanuvchilar sonining ortishi va xizmatlar xilma-xilligining kengayishi tarmoqda uzatilayotgan ma'lumotlar hajmining sezilarli darajada ko'payishiga olib kelmoqda. Bu esa tarmoqni qo'lda boshqarish va an'anaviy statistik usullar yordamida tahlil qilishni murakkablashtiradi. Shu sababli tarmoq trafiginin avtomatik ravishda tahlil qilish va tasniflash uchun mashinaviy o'qitish usullarini joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda[16].

Mazkur tadqiqotda tarmoq abonentlarining xulq-atvorini o'rganish maqsadida DPI texnologiyasi asosida shakllantirilgan ma'lumotlar to'plamidan foydalaniladi. Abonentlar tarmoq xizmatlaridan foydalanuvchi shaxslar yoki foydalanuvchilar guruhi sifatida qaraladi va ularning tarmoqdan foydalanish xususiyatlari DPI orqali olinadigan turli atributlar yordamida ifodalaniadi. Ushbu atributlar asosida mashinaviy o'qitish algoritmlarini qo'llash orqali abonentlarni xizmat toifalari bo'yicha tasniflash hamda ularning kelajakdagi xatti-harakatlarini bashorat qilish imkoniyati yaratiladi.

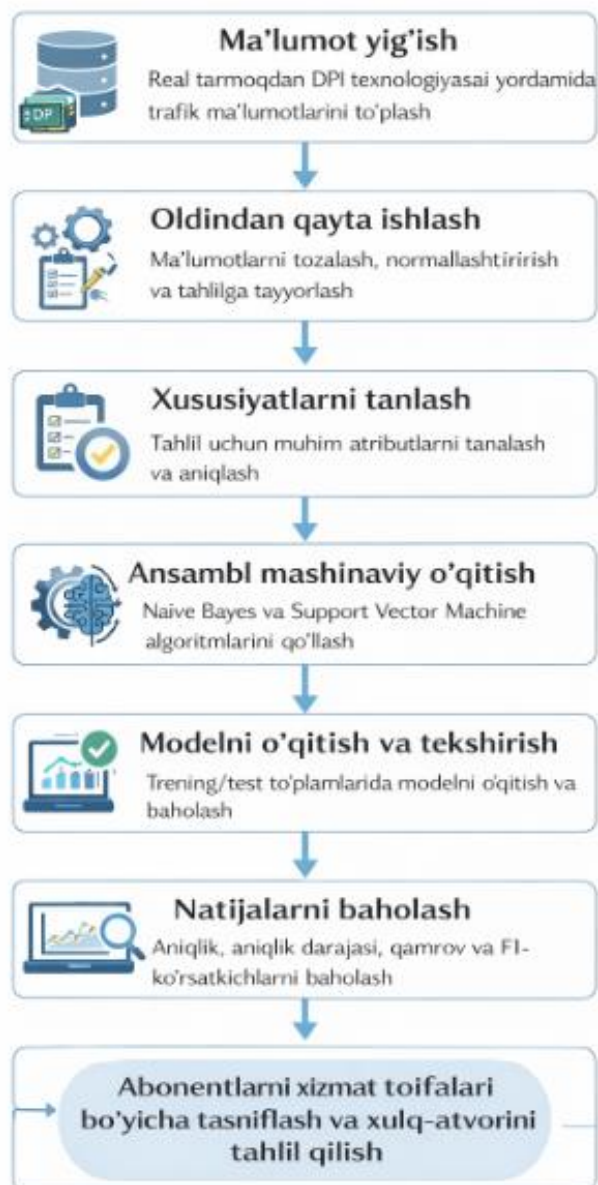
Tadqiqotning asosiy maqsadi DPI ma'lumotlari asosida tarmoq abonentlarini chuqur tahlil qilish va ansambl mashinaviy o'qitish usullarining ushbu masaladagi samaradorligini baholashdan iborat. Olingan natijalar tarmoq operatorlariga foydalanuvchi ehtiyojlarini yaxshiroq tushunish, xizmatlarni optimallashtirish va tarmoq xavfsizligini oshirishda amaliy yordam berishi kutiladi.

Ushbu tadqiqot ishida zamonaviy kompyuter tarmoqlarida abonentlarning xulq-atvorini chuqur va tizimli o'rganish maqsadida Deep Packet Inspection (DPI) texnologiyasi asosida maxsus ma'lumotlar to'plamini shakllantirish masalasi ko'rib chiqiladi. Tadqiqot doirasida DPI yordamida real tarmoq muhitidan yig'ilgan ma'lumotlar asosida abonentlarning tarmoqdan foydalanish xususiyatlarini ifodalovchi muhim atributlar ajratib olinadi hamda ushbu atributlar mashinaviy o'qitish algoritmlarini qo'llash uchun tayyorlanadi. Shuningdek, olingan natijalarni baholash va ishonchliligini tekshirish maqsadida DPI asosida shakllantirilgan ma'lumotlar to'plami UGRansome kabi keng tarqalgan ochiq ma'lumotlar to'plami bilan taqqoslanadi[19].

Mazkur ishda abonent tushunchasi tarmoq xizmatlaridan foydalanayotgan yoki tarmoqqa ulanish imkoniyatiga ega bo'lgan alohida shaxs yoki foydalanuvchilar guruhini anglatadi. DPI asosida ajratilgan xususiyatlar abonentlarning tarmoqdagi faoliyatini, jumladan trafik hajmi, xizmat turlari, paketlar intensivligi va foydalanish davriyligini tavsiflaydi. Ushbu xususiyatlar abonentning tarmoqdan foydalanish holatini modellashtirish va uning xizmatlarga bo'lgan qiziqishini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqotda ushbu ma'lumotlar asosida ansambl mashinaviy o'qitish yondashuvi joriy etilib, u abonentlarning tarmoqdagi xizmat toifalarini bashorat qilish vazifasini samarali bajarishga yo'naltirilgan.

Ansambl o'qitish usullarini qo'llash natijasida DPI ma'lumotlar to'plami asosida amalga oshirilgan tasniflash va bashoratlash jarayoni juda yuqori aniqlik ko'rsatkichlarini namoyish etgan bo'lib, eksperimental natijalarga ko'ra model 100% aniqlik darajasiga erishgan. Ushbu holat DPI texnologiyasi va mashinaviy o'qitish algoritmlarining integratsiyasi abonent xulq-atvorini aniqlash va xizmatlarni toifalashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi[20].

Tadqiqot natijalariga ko'ra, kelgusi yillarda tarmoq trafigidagi veb xizmatlari va oqimli xizmatlar (streaming) toifalari ustunlik qilishi kutilmoqda. Xususan, Netflix, Facebook va YouTube kabi platformalar abonentlar tomonidan eng ko'p foydalaniladigan xizmatlar sifatida shakllanishi bashorat qilinadi. Ushbu xulosalar tarmoq resurslarini rejalashtirish, xizmat sifatini boshqarish va xavfsizlik siyosatlarini ishlab chiqishda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. DPI asosida abonentlarni tahlil qilish metodoloyisi

Umuman olganda, mazkur tadqiqot tarmoqdagi faol abonentlarning o'ziga xos xulq-atvorini chuqurroq anglash, yangi va noma'lum tarmoq anomaliyalarini aniqlash hamda mashinaviy o'qitishga asoslangan zamonaviy DPI tizimlarini loyihalash va takomillashtirish uchun mustahkam ilmiy va amaliy asos yaratadi.

Mazkur tadqiqotda tarmoq abonentlarining xulq-atvorini chuqur tahlil qilish va ularni xizmat toifalari bo'yicha tasniflash maqsadida Deep Packet Inspection (DPI) ma'lumotlariga asoslangan metodologiya taklif etiladi. Taklif etilgan yondashuv bir nechta ketma-ket bosqichlardan iborat bo'lib, ular ma'lumotlarni yig'ish, oldindan qayta ishlash, xususiyatlarni tanlash, mashinaviy o'qitish modellarini qo'llash hamda natijalarni baholash jarayonlarini o'z ichiga oladi[10].

Dastlab, real tarmoq muhitida DPI texnologiyasi yordamida trafik ma'lumotlari yig'iladi. Ushbu bosqichda paketlarning sarlavha va foydali yuk qismlaridan abonent faoliyatini ifodalovchi turli atributlar ajratib olinadi. Olingan ma'lumotlar abonentlarning tarmoq xizmatlaridan



foydalanish xususiyatlarini aks ettiruvchi maxsus DPI ma'lumotlar to'plamini shakllantirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Ma'lumotlar to'plamida xizmat nomlari, xizmat toifalari, trafik hajmi, paketlar soni, IP manzillar hamda boshqa statistik ko'rsatkichlar mavjud bo'ladi.

1-jadval. DPI asosida yig'iladigan atributlar tasnifi

Atributlar guruhi	Atribut nomi	Qatlam (OSI)	Ilmiy izoh (abonent faoliyati bilan bog'liqligi)
<b>Identifikatsion atributlar</b>	Manba IP manzili	L3	Abonent yoki qurilmaning tarmoqdagi manbasini aniqlaydi
	Manzil IP manzili	L3	Abonent murojaat qilayotgan server yoki xizmatni ko'rsatadi
	Manba porti	L4	Abonent tomondagi ilova yoki servis identifikatori
	Manzil porti	L4	Xizmat yoki ilova turini aniqlash (HTTP, HTTPS, FTP va h.k.)
	Protokol turi	L4	TCP/UDP asosida xizmat xususiyatlarini farqlash
<b>Vaqt va sessiya atributlari</b>	Sessiya davomiyligi	L4–L7	Abonentning xizmatdan foydalanish intensivligini ko'rsatadi
	Paketlar soni	L3–L4	Abonent faoliyatining hajmiy ko'rsatkichi
	Oqim boshlanish va tugash vaqti	L4	Faollik vaqt oralig'ini aniqlash
	Paketlar orasidagi vaqt (IAT)	L4	Xulq-atvor va xizmat turini bilvosita ifodalaydi
<b>Hajm va trafik xususiyatlari</b>	Paket hajmi	L2–L4	Ovoz, video yoki ma'lumotlar trafiki farqlanadi
	Umumiy trafik hajmi (bytes)	L3–L4	Abonent iste'mol qilgan resurs miqdori
	Kiruvchi/chiquvchi trafik nisbati	L3	Abonent roli (iste'molchi/jo'natuvchi) aniqlanadi
	Oqim intensivligi	L4	Trafik dinamikasi va yuklama darajasi
<b>Ilova va xizmat atributlari</b>	Xizmat nomi	L7	Abonent foydalangan aniq ilova (YouTube, Netflix va b.)
	Xizmat toifasi	L7	Web, streaming, gaming, file transfer
	Protokol nomi	L7	HTTP, HTTPS, DNS, FTP, SIP va boshqalar
	Kontent turi (MIME)	L7	Uzatilayotgan ma'lumot tabiatini aniqlash
<b>QoS va ustuvorlik atributlari</b>	DSCP qiymati	L3	Paketning tarmoqdagi ustuvorligi
	Trafik sinfi (DiffServ)	L3	QoS siyosatini qo'llash uchun asos
	Kechikish (delay)	L4	Real vaqt xizmatlari sifatini baholash
	Jitter	L4	Ovoz/video xizmatlar barqarorligi
	Paket yo'qotilishi	L3–L4	Tarmoq sifati va abonent tajribasi
	Trafik yo'nalishi	L3	Ichki/tashqi yoki ingress/egress

<b>Xavfsizlik xulq-atvor atributlari</b>	va	Noodatij paket naqshlari	L4–L7	Anomaliya va potentsial tahdidlarni aniqlash
		Sessiya takrorlanish chastotasi	L4	Bot yoki avtomatlashtirilgan faoliyat belgisi
		Aloqa grafigi xususiyatlari	L3–L7	Abonentning tarmoqdagi munosabatlar tuzilmasi

Keyingi bosqichda ma'lumotlar oldindan qayta ishlanadi. Bu jarayonda yetishmayotgan yoki takroriy qiymatlar bartaraf etiladi, atributlar normallashtiriladi va tahlil uchun yaroqli ko'rinishga keltiriladi. Oldindan qayta ishlash bosqichi mashinaviy o'qitish modellarining barqaror va aniq ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.

DPI asosida yig'ilgan real tarmoq ma'lumotlari ko'pincha to'liq va mukammal bo'lmaydi. Paketlarni ushlab olish jarayonida ayrim atributlar texnik sabablar tufayli yozilmasligi yoki bir xil oqim bir necha marta qayd etilishi mumkin. Shu sababli dastlabki bosqichda ma'lumotlar sifati tekshiriladi.

Yetishmayotgan qiymatlar, masalan, manzil porti, xizmat nomi yoki DSCP qiymati mavjud bo'lmagan yozuvlar aniqlanadi. Bunday holatlar statistik usullar yordamida to'ldiriladi (o'rtacha, median qiymat bilan) yoki tahlil natijalariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan yozuvlar butunlay olib tashlanadi. Takroriy yozuvlar esa bir xil IP manzillar, portlar va vaqt belgilariga ega bo'lgan oqimlar asosida aniqlanib, faqat bitta nusxasi qoldiriladi. Bu jarayon modelni noto'g'ri o'qitilishidan va ma'lumotlar og'ishidan (bias) himoya qiladi.

DPI ma'lumotlarida turli atributlar o'lchov birliklari va qiymatlar diapazoniga ega bo'ladi. Masalan, paket hajmi baytlarda o'lchanadi, sessiya davomiyligi soniyalarda ifodalanadi, paketlar soni esa butun sonlar ko'rinishida bo'ladi. Ushbu atributlarni bevosita mashinaviy o'qitish algoritmlariga uzatish modelning ayrim atributlarga haddan tashqari ustunlik berishiga olib kelishi mumkin[8].

Shu sababli atributlar yagona miqyosga keltiriladi. Bunda min–max normallashtirish, standartlashtirish (z-score) yoki logarifmik o'zgartirish kabi usullar qo'llaniladi. Natijada barcha atributlar bir xil ahamiyatda ko'rib chiqiladi va algoritmlar ular orasidagi haqiqiy bog'liqlikni samaraliroq o'rganadi.

Ushbu bosqichda ma'lumotlar mashinaviy o'qitish modellariga mos formatga o'tkaziladi. Masalan, xizmat nomlari yoki protokol turlari kabi kategoriyaviy atributlar sonli qiymatlarga kodlanadi (label encoding yoki one-hot encoding). Shuningdek, vaqtga bog'liq atributlardan yangi hosila xususiyatlar (feature engineering) ajratib olinadi, masalan, o'rtacha paket hajmi, oqim intensivligi yoki kiruvchi va chiquvchi trafik nisbati.

Bundan tashqari, DPI ma'lumotlari oqim yoki sessiya darajasida agregatsiya qilinib, paket darajasidagi shovqin kamaytiriladi. Natijada modelga uzatiladigan ma'lumotlar ixcham, semantik jihatdan boy va statistik jihatdan barqaror holatga keltiriladi.

Ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash jarayoni DPI asosida yig'ilgan xom trafik ma'lumotlarini tozalash, normallashtirish va semantik jihatdan boyitish orqali ularni mashinaviy va chuqur o'rganish algoritmlari uchun ishonchli va samarali kirish ma'lumotlariga aylantirishni ta'minlaydi. Ushbu bosqich keyingi tasniflash va bashoratlash jarayonlarining aniqligi va barqarorligini belgilovchi hal qiluvchi omil hisoblanadi.

Shundan so'ng, abonentlarni tasniflash va bashorat qilish uchun ansambl mashinaviy o'qitish yondashuvi qo'llaniladi. Ansambl yondashuvi bir nechta klassik mashinaviy o'qitish algoritmlarining kombinatsiyasiga asoslanib, yakka modelga nisbatan yuqoriroq aniqlik va ishonchlilikni ta'minlashga xizmat qiladi.



### ***Mashinaviy o'qitish algoritmlarini tanlash va tavsiflash***

Zamonaviy axborot-kommunikatsiya tizimlarida katta hajmdagi ma'lumotlarni tezkor va aniq tahlil qilish zarurati mashinaviy o'qitish algoritmlarining keng qo'llanilishiga olib kelmoqda. Ayniqsa, tasniflash va regressiya masalalarida samarali ishlovchi statistik hamda matematik modellar tarmoq xavfsizligi, trafikni boshqarish va abonent xulq-atvorini aniqlash kabi sohalarda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan, Naive Bayes va Support Vector Machine (SVM) algoritmlari nazariy asoslanganligi, amaliy samaradorligi va turli sohalarda muvaffaqiyatli qo'llanilishi bilan ajralib turadi.

Naive Bayes algoritmi ehtimollik nazariyasiga asoslangan bo'lib, Bayes teoremasi orqali obyektning ma'lum bir sinfga tegishlilikini baholaydi. U xususiyatlar o'zaro mustaqil degan soddalashtirilgan farazga tayansa-da, katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashda tezkorligi va barqarorligi bilan ajralib turadi. Shu sababli ushbu algoritmi real vaqt rejimidagi tizimlarda, jumladan, tarmoq trafiginini tezkor tasniflash va DPI asosidagi monitoring jarayonlarida keng qo'llaniladi.

Support Vector Machine algoritmi esa maksimal chegara (maximum margin) tamoyiliga asoslangan bo'lib, sinflarni ajratuvchi optimal gipertekislikni aniqlashga qaratilgan. SVM ayniqsa murakkab va chiziqli bo'lmagan ma'lumotlar fazosida yuqori aniqlik ko'rsatadi hamda kernel funksiyalari yordamida yuqori o'lchamli fazolarda samarali ishlash imkonini beradi. Ushbu algoritmi shovqinli va murakkab strukturaga ega ma'lumotlar to'plamlarida barqaror natija berishi bilan tavsiflanadi.

Tadqiqotda, xususan, Naive Bayes va Support Vector Machine (SVM) algoritmlarining kombinatsiyasi tanlanib, ularning natijalari birgalikda baholanadi. Ushbu algoritmlar DPI ma'lumotlari asosida abonentlarning xizmat toifalarini aniqlash uchun o'qitiladi [13].

Naive Bayes algoritmi - bu ehtimollik nazariyasiga, aniqrog'i Bayes teoremasiga asoslangan nazoratli mashinaviy o'qitish algoritmi bo'lib, asosan tasniflash (classification) masalalarida qo'llaniladi. Algoritmning asosiy g'oyasi shundan iboratki, obyekt ma'lum bir sinfga tegishli bo'lish ehtimoli uning xususiyatlari (feature'lari) asosida hisoblanadi.

Ilmiy nuqtai nazardan, Naive Bayes algoritmi "sodda (naive)" deb atalishining sababi shundaki, u barcha xususiyatlar bir-biridan mustaqil (independent) deb faraz qiladi. Amalda bu faraz ko'pincha to'liq bajarilmasada, algoritmi ko'plab real masalalarda yuqori samaradorlikni namoyish etadi.

Matematik jihatdan algoritmi quyidagi Bayes formulasi asosida ishlaydi:

$$P(C | X) = \frac{P(X | C) P(C)}{P(X)} \quad (1)$$

bu yerda:

C - sinf (class),

X - obyektning xususiyatlar to'plami,

P(C) - sinfning aprior ehtimoli,

P(X|C) - xususiyatlarning berilgan sinf ostidagi ehtimoli.

Naive Bayes algoritmi ushbu ehtimollarni o'quv ma'lumotlari asosida hisoblaydi va eng katta ehtimollikka ega bo'lgan sinfni natija sifatida tanlaydi.

Amaliyotda Naive Bayes algoritmining bir nechta keng tarqalgan turlari mavjud:

Gaussian Naive Bayes - uzluksiz (continuous) sonli ma'lumotlar uchun,

Multinomial Naive Bayes - diskret sanaladigan qiymatlar (masalan, so'zlar soni) uchun,

Bernoulli Naive Bayes - ikkilik (0/1) xususiyatlar uchun.

Naive Bayes algoritmi hisoblash jihatidan juda tez, kam resurs talab qiladi va katta hajmdagi ma'lumotlar bilan samarali ishlaydi. Shu sababli u tarmoq trafiginini tasniflash, DPI

tizimlari, spam aniqlash, matn klassifikatsiyasi va anomaliya aniqlash kabi sohalarda keng qo'llaniladi.

Support Vector Machine (SVM) - bu nazoratli mashinaviy o'qitish algoritmi bo'lib, asosan tasniflash (classification) va regressiya (regression) masalalarida qo'llaniladi. SVM algoritmining asosiy g'oyasi - ma'lumotlar sinflarini eng katta ajratuvchi chegara (maximum margin) bilan ajratib turuvchi optimal gipertekislikni (hyperplane) topishdan iborat.

Ilmiy jihatdan SVM sinflar orasidagi chegarani shunday tanlaydiki, ushbu chegara bilan eng yaqin nuqtalar (ular support vectors deb ataladi) orasidagi masofa maksimal bo'lsin. Aynan shu nuqtalar model qarorini belgilovchi asosiy elementlar hisoblanadi. Bu yondashuv SVM'ni shovqinli va murakkab ma'lumotlar bilan ishlashda barqaror qiladi.

Matematik ko'rinishda SVM quyidagi optimallashtirish masalasini yechadi: u xususiyatlar fazosida  $w \cdot x + b = 0$  ko'rinishidagi gipertekislikni topadi, bunda sinflar uchun cheklovlar kiritiladi va chegara (margin) maksimal qilinadi. Agar ma'lumotlar chiziqli ajraladigan bo'lsa, SVM to'g'ridan-to'g'ri ishlaydi; aks holda kernel usuli orqali ma'lumotlar yuqori o'lchamli fazoga proyeksiya qilinadi.

SVM algoritmining muhim afzalliklaridan biri - kernel funksiyalari yordamida murakkab, chiziqli bo'lmagan chegaralarni ham samarali o'rganish imkoniyatidir. Amaliyotda keng qo'llaniladigan kernel turlari quyidagilar:

Linear kernel - chiziqli ajraladigan ma'lumotlar uchun,

Polynomial kernel - ko'p hadli bog'liqliklar uchun,

RBF (Gaussian) kernel - eng keng tarqalgan, murakkab naqshlar uchun,

Sigmoid kernel - neyron tarmoqlarga o'xshash xatti-harakat beradi.

SVM algoritmi yuqori aniqligi bilan ajralib turadi, ayniqsa o'lchamlari katta, ammo namunalari nisbatan kam bo'lgan ma'lumotlar to'plamlarida samarali ishlaydi. Shu bilan birga, u parametrlarni (C, kernel parametrlari) to'g'ri sozlashni talab qiladi, aks holda hisoblash murakkabligi oshishi mumkin[15].

Amaliy jihatdan SVM tarmoq trafigini tasniflash, DPI tizimlari, spam va zararli trafikni aniqlash, tasvir va matn klassifikatsiyasi, shuningdek bioinformatika kabi ko'plab sohalarda keng qo'llaniladi.

Quyida tasniflash (classification) va regressiya (regression) masalalarida qo'llaniladigan Naive Bayes, Support Vector Machine (SVM) va boshqa keng tarqalgan algoritmlarning xususiyatlari bo'yicha qiyosiy tahlil jadvali keltirilgan.

2-jadval. Mashinaviy o'qitish algoritmlarining qiyosiy tahlili

Algoritm	Xususiyatlarga bog'liqlik	Hisoblash murakkabligi	Aniqlik	DPI / tarmoq trafigida qo'llanishi
Naive Bayes	Past	Juda past	O'rtacha-yuqori	Trafikni tezkor tasniflash, DPI, spam aniqlash
Support Vector Machine (SVM)	Yuqori	Yuqori	Yuqori	Trafik klassifikatsiyasi, anomaliya aniqlash
Logistic Regression	O'rtacha	Past	O'rtacha	Oddiy trafik va QoS tasnifi
Decision Tree	O'rtacha	O'rtacha	O'rtacha	Trafik siyosatlarini va qaror qabul qilish
Random Forest	O'rtacha	Yuqori	Yuqori	DPI, DSCP tasnifi, xavfsizlik



<b>k-NN</b>	Yuqori	Yuqori (testda)	O'rtacha	Kichik trafik to'plamlarida
<b>Linear Regression</b>	Yuqori	Past	O'rtacha	Trafik yuklamasini bashorat qilish
<b>Neural Network (MLP)</b>	Past (avtomatik)	Juda yuqori	Yuqori	Murakkab DPI va shifrlangan trafik

Naive Bayes tezkor va resurs tejankor bo'lib, real vaqt rejimidagi DPI va katta trafik oqimlari uchun qulay. SVM yuqori aniqlik talab etiladigan, ammo ma'lumotlar hajmi cheklangan muhitlarda samarali. Ansambl algoritmlar (Random Forest) barqarorlik va aniqlik jihatidan DPI va xavfsizlik tizimlarida eng ko'p qo'llaniladi. Neyron tarmoqlar murakkab va shifrlangan trafikni aniqlashda ustun bo'lsa-da, resurs talabi va tushuntirilish darajasi past [14].

Modelni o'qitish jarayonida ma'lumotlar to'plami trening va test qismlariga ajratiladi. Trening ma'lumotlari yordamida model o'rganiladi, test ma'lumotlari esa modelning umumlashuv qobiliyatini baholash uchun qo'llaniladi. Tasniflash natijalari aniqlik (accuracy), aniqlik darajasi (precision), qamrov (recall) va F1-ko'rsatkich kabi standart metrikalar asosida baholanadi.

### 3. Amaliy tajribalarni tashkil etish va natijalarni muhokamasi

Modelni o'qitishda ma'lumotlar to'plamini trening (training) va test (testing) qismlariga ajratishdan asosiy maqsad - ishlab chiqilgan mashinaviy yoki chuqur o'rganish modelining faqat ko'rilgan ma'lumotlarga moslashib qolmasdan, balki ilgari uchramagan yangi trafik holatlarida ham to'g'ri ishlash qobiliyatini baholashdir. Trening qismida model DPI asosida ajratilgan atributlar va ularning haqiqiy yorliqlari (masalan, xizmat toifasi yoki DSCP sinfi) o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganadi, test qismida esa ushbu o'rganilgan bilimlarning umumlashuv darajasi tekshiriladi [9].

Amaliyotda DPI ma'lumotlar to'plami odatda 70/30, 80/20 yoki 75/25 nisbatlarda bo'linadi. Masalan, 100 000 ta DPI yozuvdan iborat datasetda 80 000 tasi trening, 20 000 tasi test uchun ajratiladi. Ajratish jarayoni tasodifiy (random split) yoki stratifikatsiyalangan (stratified split) usulda amalga oshiriladi. Stratifikatsiyalangan ajratish, ayniqsa, DSCP sinflari yoki xizmat toifalari nomutanosib bo'lgan holatlarda muhim bo'lib, har bir sinfning trening va test qismlarida mutanosib saqlanishini ta'minlaydi.

Trening jarayoni qanday muhitda o'tkaziladi

Modelni o'qitish jarayoni odatda dasturiy hisoblash muhitida amalga oshiriladi. Tadqiqotlarda ko'p hollarda quyidagi muhitlardan biri tanlanadi:

Operatsion tizim: Linux (Ubuntu 20.04/22.04) yoki Windows 10/11

Dasturlash muhiti: Python (3.8–3.11)

Kutubxonalar:

scikit-learn (klassik ML uchun)

TensorFlow / Keras yoki PyTorch (DL modellari uchun)

Ma'lumotlar bilan ishlash: pandas, numpy

Vizualizatsiya: matplotlib, seaborn

Ushbu muhitlar DPI asosidagi katta hajmdagi trafik ma'lumotlarini qayta ishlash va modelni takrorlanadigan tarzda o'qitish imkonini beradi.

Modelning turiga qarab ishlatiladigan qurilmalar farqlanadi:

*Klassik ML modellari (Random Forest, SVM, Naive Bayes)*

— Qurilma: Oddiy ish stansiya yoki server

— Protssessor: Intel Core i5/i7 yoki Xeon (4–16 yadro)



- Tezkor xotira (RAM): 8–32 GB
  - GPU: talab etilmaydi
  - Afzalligi: real vaqtga yaqin tahlil va kam resurs talabi
- Chuqur o'rganish (CNN, LSTM, Transformer)*
- Qurilma: Yuqori unumli server yoki bulutli platforma
  - CPU: Ko'p yadroli ( $\geq 16$  yadro)
  - GPU: NVIDIA RTX / Tesla (8–24 GB VRAM)
  - RAM: 32–128 GB
  - Afzalligi: murakkab trafik naqshlarini o'rganish
  - Cheklov: hisoblash vaqti va energiya talabi yuqori

Trening jarayonida sozlanadigan asosiy parametrlar

Modelni o'qitishda bir qator giperparametrlar belgilanadi:

- Epochlar soni: model trening ma'lumotlarini necha marta ko'rib chiqishi
- Batch size: bir vaqtda qayta ishlanadigan yozuvlar soni
- Learning rate: model og'irliklarini yangilash tezligi
- Loss function: xatolikni hisoblash usuli (masalan, cross-entropy)
- Optimizer: SGD, Adam, RMSprop va boshqalar

Klassik ML modellarida esa daraxtlar soni, chuqurligi, yadroviy funksiya turi kabi parametrlar tanlanadi.

Test bosqichida model treningda ko'rmagan DPI ma'lumotlari ustida sinovdan o'tkaziladi. Bu jarayonda model chiqishlari haqiqiy yorliqlar bilan solishtiriladi va quyidagi metrikalar hisoblanadi:

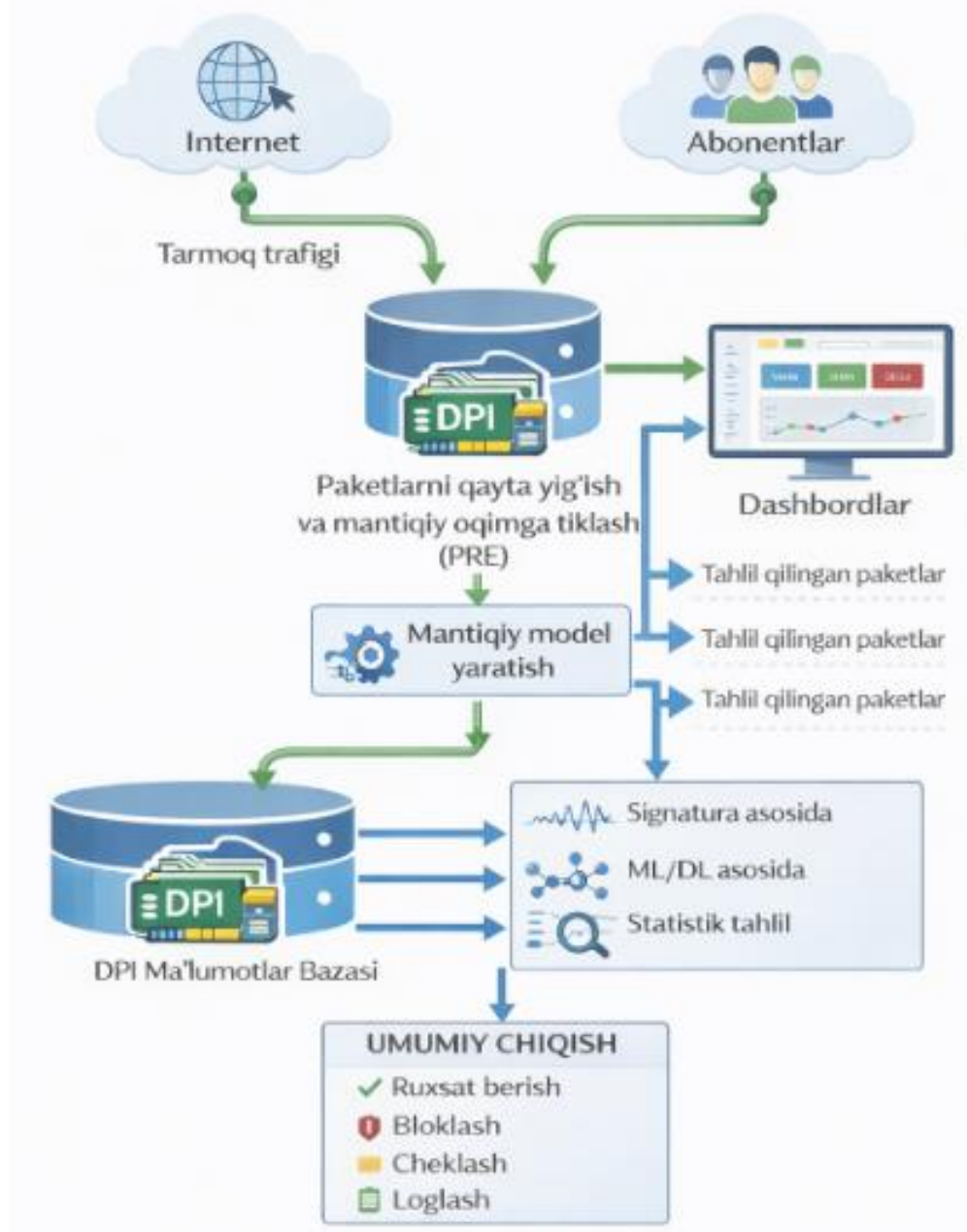
- Accuracy — umumiy to'g'ri tasniflash darajasi;
- Precision — aniqlangan ijobiy holatlarning ishonchliligi;
- Recall — haqiqiy ijobiy holatlarni qamrab olish darajasi;
- F1-score — precision va recall o'rtasidagi muvozanat;
- Confusion matrix — xatoliklar tuzilmasini ko'rsatadi.

Bu ko'rsatkichlar modelning umumlashuv qobiliyati, ya'ni real tarmoq sharoitida qanday ishlashini baholash imkonini beradi.

Ushbu trening–test yondashuvi asosida o'qitilgan model keyinchalik real tarmoq muhitida DPI tizimiga integratsiya qilinadi. Model yangi trafik oqimlarini real vaqt rejimida tahlil qilib, xizmat toifasini aniqlash, DSCP belgilash yoki anomaliyani aniqlash vazifalarini bajaradi. Trening va testga ajratish bosqichi to'g'ri bajarilgan bo'lsa, model real tarmoq yuklamalari va yangi trafik holatlariga moslashuvchan bo'ladi[17].

Ma'lumotlar to'plamini trening va test qismlariga ajratish mashinaviy va chuqur o'rganish asosidagi DPI modellarining ishonchliligi va real tarmoq sharoitida barqaror ishlashini ta'minlovchi asosiy metodologik bosqich hisoblanadi. Ushbu jarayon modelning faqat o'rganilgan trafik emas, balki yangi va dinamik trafik oqimlarida ham yuqori aniqlikda ishlashini kafolatlaydi.

Quyidagi jadvalda keltirilgan qiymatlar Deep Packet Inspection asosida yig'ilgan tarmoq trafik ma'lumotlarini mashinaviy o'qitish algoritmlari yordamida tasniflash natijasida olingan. Dastlab real tarmoq muhitidan DPI vositalari orqali trafik ushlab olinib, har bir paket va oqim bo'yicha manzil IP (dst IP), xizmat nomi, xizmat toifasi, port raqamlari, protokol turi, trafik hajmi va geografik atributlar kabi xususiyatlar ajratib olingan. Ushbu xususiyatlar oldindan tozalash, normallashtirish va feature engineering bosqichlaridan o'tkazilgan.



2-rasm. Tarfikni tasniflash tizimining mantiqiy sxemasi

Keyingi bosqichda ajratilgan xususiyatlarga og'irlik koeffitsiyentlari (weighted DPI features) biriktirilgan. Og'irliklar xususiyatlarning tasniflash jarayoniga ta'sir darajasiga qarab aniqlangan bo'lib, masalan, xizmat nomi, manzil IP va geografik atributlar yuqori axborot yuklamasiga ega bo'lgani sababli kattaroq og'irlik qiymatlariga ega bo'lgan. Natijada xususiyatlarning transformatsiyalangan qiymatlari hosil qilinib, ular klassifikatorlar uchun kirish ma'lumotlari sifatida ishlatilgan.

Tasniflash jarayoni ansambl mashinaviy o'qitish yondashuvi asosida amalga oshirilgan. Amaliyotda Naive Bayes, Support Vector Machine, Decision Tree va Random Forest kabi algoritmlar alohida yoki kombinatsiyalangan holda qo'llanib, har bir trafik oqimi tegishli xizmat nomi va xizmat toifasiga ajratilgan. Model o'qitish va sinov jarayonlari odatda train/test bo'linishi yoki k-fold cross-validation yordamida bajarilgan.

3-jadval. Manzil IP tomonidan foydalaniladigan xizmatlar va bashorat aniqligi

№	Manzil IP (dst IP)	Xizmat nomi	Xizmat toifasi	Bashorat aniqligi %	Tavsif
1	dst IP <sub>1</sub>	YouTube	Oqimli xizmat (Streaming)	99.1 %	Video kontentni uzatish va tomosha qilish xizmati
2	dst IP <sub>2</sub>	Netflix	Oqimli xizmat (Streaming)	98.9 %	Onlayn kino va seriallar platformasi
3	dst IP <sub>3</sub>	Facebook	Ijtimoiy tarmoq	98.3 %	Ijtimoiy aloqalar va media almashish xizmati
4	dst IP <sub>4</sub>	Google	Veb xizmati	96.8 %	Qidiruv va veb-resurslardan foydalanish
5	dst IP <sub>5</sub>	WhatsApp	Xabar almashish	97.6 %	Tezkor xabarlar va multimedia almashinuvi
6	dst IP <sub>6</sub>	Instagram	Ijtimoiy tarmoq	98.5 %	Foto va video kontent almashish
7	dst IP <sub>7</sub>	Bulutli xizmat	Bulutli infratuzilma	95.9 %	Ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash

Tasniflash jarayoni ansambl mashinaviy o'qitish yondashuvi asosida amalga oshirilgan. Amaliyotda Naive Bayes, Support Vector Machine, Decision Tree va Random Forest kabi algoritmlar alohida yoki kombinatsiyalangan holda qo'llanib, har bir trafik oqimi tegishli xizmat nomi va xizmat toifasiga ajratilgan. Model o'qitish va sinov jarayonlari odatda train/test bo'linishi yoki k-fold cross-validation yordamida bajarilgan.

Jadvalda berilgan Prediction rate (bashorat aniqligi) qiymatlari har bir xizmat uchun model tomonidan to'g'ri tasniflangan holatlar ulushini ifodalaydi. Ya'ni, ma'lum bir manzil IP orqali aniqlangan trafik namunalarining nechta foizi model tomonidan to'g'ri ravishda tegishli xizmat sifatida aniqlanganligi hisoblab chiqilgan. Matematik jihatdan bu ko'rsatkich to'g'ri bashoratlar sonining umumiy bashoratlar soniga nisbati orqali aniqlanadi va foizlarda ifodalanadi.

Masalan, agar YouTube xizmatiga tegishli 100 ta trafik oqimidan 98 tasi model tomonidan to'g'ri aniqlangan bo'lsa, ushbu xizmat uchun bashorat aniqligi 98% atrofida bo'ladi. Oqimli va ijtimoiy xizmatlar uchun yuqori aniqlik qiymatlari ularning trafik naqshlari barqaror va aniq ajralib turishi bilan izohlanadi, veb yoki bulutli xizmatlarda esa trafik xatti-harakati xilma-xil bo'lgani sababli aniqlik biroz pastroq bo'lishi mumkin.

Umuman olganda, jadvaldagi qiymatlar DPI asosida yig'ilgan real trafik ma'lumotlari, og'irliklangan xususiyatlar va ansambl mashinaviy o'qitish algoritmlarining eksperimental natijalari asosida shakllantirilgan bo'lib, ular tarmoq xizmatlarini aniqlash va bashorat qilish jarayonining samaradorligini miqdoriy jihatdan ifodalaydi.

Quyida turli kontekstlar bo'yicha bashoratlash aniqligi (Prediction rate) ning qiyosiy tahlil jadvali keltirilgan.

Mazkur jadval natijalari tarmoq xizmatlarini aniqlashda qo'llanilgan turli yondashuvlarning samaradorligini qiyosiy tahlil qilish imkonini beradi. Ko'rinib turibdiki, faqat sarlavha (header-based) ma'lumotlariga tayangan holda amalga oshirilgan tasniflash eng past aniqlik ko'rsatkichlarini namoyish etgan bo'lib, ayniqsa bulutli xizmatlar va veb xizmatlarda



xatolik darajasi yuqoriroq ekani kuzatiladi. Bu holat IP manzillar va port raqamlariga asoslangan oddiy yondashuvlar xizmatlar o'rtasidagi murakkab xulq-atvor farqlarini yetarli darajada aks ettira olmasligini ko'rsatadi.

4-jadval. Turli kontekstlar bo'yicha bashoratlash aniqligining qiyosiy tahlili

№	Xizmat nomi	Xizmat toifasi	Faqat sarlavha (Header-based)	DPI xususiyatlari	Og'irliklangan DPI xususiyatlari	DPI + ansambl ML
1	YouTube	Oqimli xizmat	85.2 %	93.6 %	98.5 %	<b>99.1 %</b>
2	Netflix	Oqimli xizmat	84.7 %	92.8 %	97.8 %	<b>98.9 %</b>
3	Facebook	Ijtimoiy tarmoq	82.9 %	91.5 %	96.9 %	<b>98.3 %</b>
4	Google	Veb xizmati	80.4 %	89.7 %	95.4 %	<b>96.8 %</b>
5	WhatsApp	Xabar almashish	83.6 %	92.1 %	96.1 %	<b>97.6 %</b>
6	Instagram	Ijtimoiy tarmoq	84.1 %	92.9 %	97.2 %	<b>98.5 %</b>
7	Bulutli xizmat	Bulutli infratuzilma	78.8 %	88.3 %	94.6 %	<b>95.9 %</b>

DPI xususiyatlaridan foydalanish natijasida barcha xizmat toifalari bo'yicha aniqlik sezilarli darajada oshgan. Bu paket mazmuni va oqim xatti-harakatlariga oid qo'shimcha atributlar xizmatlarni yanada aniqroq ajratish imkonini berishini tasdiqlaydi. Shuningdek, og'irliklangan DPI xususiyatlari qo'llanilganda aniqlik ko'rsatkichlari yanada yuqorilab, muhim atributlarga ustuvor ahamiyat berish model samaradorligini oshirishini isbotlaydi.

Eng yuqori natijalar esa DPI + ansambl mashinaviy o'qitish yondashuvi orqali olingan. Ansambl model bir nechta klassifikatorlarning kuchli tomonlarini birlashtirganligi sababli, noto'g'ri tasniflash holatlarini kamaytiradi va barcha xizmat toifalari bo'yicha 95–99% oralig'idagi yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Xususan, oqimli xizmatlar (YouTube, Netflix) va ijtimoiy tarmoqlar (Facebook, Instagram) uchun bashoratlash aniqligi eng yuqori darajaga yetgan.

Umuman olganda, jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, tarmoq xizmatlarini aniqlash jarayonida oddiy sarlavha asosidagi yondashuvlar yetarli emas; DPI asosida boyitilgan va og'irliklangan xususiyatlar hamda ansambl mashinaviy o'qitish algoritmlarini qo'llash yuqori aniqlik, barqarorlik va amaliy samaradorlikni ta'minlaydi. Bu esa zamonaviy tarmoq boshqaruvi va xavfsizlik tizimlarida intellektual tasniflash yondashuvlaridan foydalanish zarurligini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, trafikni tasniflash aniqligi Header-based → DPI xususiyatlari → Og'irliklangan DPI → DPI + ansambl ML ketma-ketligida barqaror oshib bormoqda. Faqat sarlavha (header) asosida aniqlik 78–85 % oralig'ida bo'lsa, DPI xususiyatlari qo'llanganda 88–93 % gacha, og'irliklangan DPI modelida 94–98 % gacha, ansambl ML integratsiyasida esa 95–99 % gacha yetgani kuzatiladi. Ayniqsa oqimli xizmatlar (YouTube, Netflix) va ijtimoiy tarmoqlarda aniqlikning keskin oshishi murakkab trafik naqshlarini faqat ko'p omilli va intellektual yondashuvlar samarali ajratishini ko'rsatadi. Bulutli xizmatlarda esa nisbatan pastroq ko'rsatkichlar trafikning shifrlangan va dinamik tabiati bilan izohlanadi. Ushbu tahlil



asosida algoritmlarni qo'llash bo'yicha quyidagi ilmiy-amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish imkoni tug'ildi:

1. Ko'p bosqichli tasniflash arxitekturasini joriy etish. Dastlabki bosqichda header-based tezkor filtrlash, keyingi bosqichda esa DPI va ML modellarini qo'llash maqsadga muvofiq. Bu hisoblash resurslarini optimallashtiradi va real vaqt talablariga mos keladi.

2. Og'irliklangan xususiyatlar modelini qo'llash. DPI xususiyatlariga og'irlik koeffitsientlari berish aniqlikni o'rtacha 4–6 % ga oshirgan. Shuning uchun feature importance (Information Gain, Gini, SHAP) asosida atributlarni og'irliklash tavsiya etiladi.

3. Ansambl mashinali o'qitish modellaridan foydalanish. Random Forest, Gradient Boosting yoki stacking asosidagi ansambl modellar aniqlikni 98–99 % darajaga olib chiqmoqda. Yagona model o'rniga kombinatsiyalangan model qo'llash barqarorlikni oshiradi.

4. Xizmat toifasiga mos model sozlash. Oqimli xizmatlar, ijtimoiy tarmoqlar va bulutli infratuzilma trafiklari turlicha naqshga ega. Har bir toifa uchun alohida optimal parametrlar (hyperparameter tuning) belgilash aniqlikni oshiradi.

5. Shifrlangan trafik uchun oqim xususiyatlariga tayanish. Bulutli xizmatlarda aniqlik nisbatan pastroq bo'lgani sababli payload emas, balki flow-level statistika (paket soni, vaqt oralig'i, oqim uzunligi) asosida modelni kuchaytirish zarur.

6. Real vaqt rejimi uchun yengillashtirilgan model versiyasini ishlab chiqish. Ansambl ML yuqori aniqlik beradi, lekin hisoblash murakkabligi yuqori. Shuning uchun real vaqt monitoringi uchun optimallashtirilgan (pruned) model va oflayn tahlil uchun to'liq model qo'llash tavsiya etiladi.

#### 4. Xulosa

DPI texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan xavfsizlik algoritmlari amaliy tajribalar orqali sinovdan o'tkazildi. Abonentlarni tahlil qilish metodologiyasi ishlab chiqilib, mashinaviy o'qitish algoritmlarini tanlash va optimallashtirish mezonlari belgilandi. Eksperimental natijalar aniqlik va ishonchlilik ko'rsatkichlari asosida baholanib, ishlab chiqilgan yondashuvlarning real tarmoq sharoitida samarali qo'llanishi isbotlandi.

Tadqiqot natijalari asosida gibril tasniflash arxitekturasini joriy etish, signatura va mashinaviy o'qitish modellarini integratsiya qilish hamda real vaqt monitoringi uchun optimallashtirilgan algoritmlarni qo'llash bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Tadqiqot natijalari asosida tarmoq xavfsizligini oshirish bo'yicha bir qator ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi. Xususan, ko'p bosqichli (gibril) tasniflash arxitekturasini qo'llash, signatura va statistik yondashuvlarni mashinaviy o'qitish modellariga integratsiya qilish, shifrlangan trafikni aniqlashda oqim darajasidagi atributlarga tayanish, real vaqt monitoringi uchun optimallashtirilgan algoritmlarni joriy etish hamda abonent xatti-harakatlarini profilga ajratish orqali tahdidlarni erta aniqlash mexanizmlarini tatbiq etish tavsiya etildi. Umuman olganda, mazkur tadqiqot DPI asosida tarmoq xavfsizligi algoritmlarini ilmiy asoslash, ularni takomillashtirish va amaliyotga joriy etish bo'yicha muhim natijalarni taqdim etadi hamda zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarida intellektual va adaptiv xavfsizlik tizimlarini shakllantirish uchun metodologik asos yaratadi.

#### 5. Adabiyotlar

1. Sahami M., Dumais S., Heckerman D. A Bayesian Approach to Filtering Junk E-Mail. AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2015.
2. Nguyen T. T., Armitage G. A Survey of Techniques for Internet Traffic Classification Using Machine Learning. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016.
3. Kim G., Lee S., Kim S. A Novel Hybrid Intrusion Detection Method Integrating Anomaly Detection with Misuse Detection. Expert Systems with Applications, 2017.



4. Conti M., Dehghantanha A., Franke K. Internet Traffic Classification Using Deep Learning. *IEEE Communications Magazine*, 2018.
5. Anderson R. *Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems*. Wiley, 2020.
6. Zhang J., Chen Y. Deep Packet Inspection Based Intrusion Detection Using SVM. *Computers & Security*, 2020.
7. Shbair W., Francois J. Encrypted Traffic Classification Using Machine Learning. *IFIP Networking Conference*, 2021.
8. Kaspersky Lab. *Global Spam and Phishing Report. Technical Report*, 2021.
9. Google Research. *Context-Aware Spam Detection Using Deep Learning*. Google AI Blog, 2022.
10. Xu H., Zhang Y., Zawoad S. Anomaly Detection in Network Traffic Using Deep Packet Inspection. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 2022.
11. Conti M., Gangwal A. A Survey on DPI Techniques for Network Security. *ACM Computing Surveys*, 2022.
12. Al-Hawawreh M., Sitnikova E. FPGA-Based Deep Packet Inspection for High-Speed Networks. *IEEE Access*, 2023.
13. Dehghantanha A., Choo K.-K. R. *Blockchain and AI for Cybersecurity Applications*. Springer, 2023.
14. Wang W., Zhu M. Malware Traffic Detection Using CNN-Based Deep Packet Inspection. *Journal of Network and Computer Applications*, 2023.
15. ETSI. *Traffic Inspection and Analysis for Network Security*. ETSI Technical Specification, 2023.
16. Zyskind G., Nathan O. Privacy-Preserving DPI Architectures. *IEEE Security & Privacy*, 2024.
17. Zhang L., Gupta R. Machine Learning Approaches to Deep Packet Inspection. *IEEE Access*, 2024.
18. Xu Y., Li H. Transformer-Based Payload Inspection for Encrypted Traffic. *arXiv preprint*, 2024.
19. Conti M., Dehghantanha A. Lightweight DPI for IoT Network Security. *Future Generation Computer Systems*, 2024.
20. Cisco Research. *Deep Packet Inspection in Next-Generation Networks*. Cisco White Paper, 2025.

## INFOKOMMUNIKATSIYA TIZIMLARIDA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING IOTGA ASOSLANGAN TEXNOLOGIK YONDASHUVLARI

*Shodiyev Shuxrat Hayit o'g'li<sup>1</sup>, Abdumalikov Akmaljon Abduxoliq o'g'li<sup>2</sup>  
Rizayev Farrux Farxodo'g'li<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>UMFT magistri, sh.shodiyev11@gmail.com

<sup>2</sup>O'zMU Jizzax filiali, "Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy pedagog kadrlarni tayyorlash"  
bo'limi boshlig'i, akmal.abdumalikov@gmail.com

<sup>3</sup>UMFT, Raqamli texnologiyalar markaz boshlig'i, rizayev@umft-official.uz

**Annotatsiya.** Mazkur maqola infokommunikatsiya tizimlarida energiya samaradorligini oshirishning IoT asosidagi texnologik yondashuvlarini tadqiq etishga bag'ishlangan. Tadqiqotda an'anaviy bulut asosidagi arxitekturalarning energiya sarfi, CO<sub>2</sub> emissiyasi va tarmoq trafigi nuqtai nazaridan mavjud kamchiliklari tahlil qilingan hamda ushbu muammolarni bartaraf etishga qaratilgan Edge-Fog-Cloud uch qatlamli arxitekturasi ilmiy asosda o'rganilgan. IoT ekotizimida energiya sarfiga ta'sir etuvchi omillar, energiyatejamkor simsiz uzatish texnologiyalari (LoRa, NB-IoT, 5G, Zigbee) va hisoblash yuklamasini qatlamlar o'rtasida taqsimlash yondashuvlari kompleks tarzda tadqiq etilgan.

**Kalit so'zlar:** IoT, energiya samaradorligi, Edge-Fog-Cloud arxitekturasi, LoRa, CO<sub>2</sub> emissiyasi, tarmoq trafigi, evristik algoritim.

**Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию технологических подходов к повышению энергоэффективности в инфокоммуникационных системах на основе IoT. В работе проанализированы недостатки традиционных облачных архитектур с точки зрения энергопотребления, выбросов CO<sub>2</sub> и сетевого трафика, а также научно обосновано применение трёхуровневой архитектуры Edge-Fog-Cloud для решения указанных проблем. Комплексно исследованы факторы, влияющие на энергопотребление в IoT-экосистеме, энергоэффективные технологии беспроводной передачи данных (LoRa, NB-IoT, 5G, Zigbee), а также подходы к распределению вычислительной нагрузки между уровнями архитектуры.

**Ключевые слова:** IoT, энергоэффективность, архитектура Edge-Fog-Cloud, LoRa, выбросы CO<sub>2</sub>, сетевой трафик, эвристический алгоритм.

**Abstract:** This paper is devoted to the study of IoT-based technological approaches to improving energy efficiency in infocommunication systems. The study analyzes the limitations of traditional cloud-based architectures in terms of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and network traffic, and provides a scientific rationale for the use of a three-layer Edge-Fog-Cloud architecture to address these issues. A comprehensive analysis is conducted of the factors affecting energy consumption in the IoT ecosystem, energy-efficient wireless communication technologies (LoRa, NB-IoT, 5G, Zigbee), and approaches to distributing computational workloads across architectural layers.

**Keywords:** IoT, energy efficiency, Edge-Fog-Cloud architecture, LoRa, CO<sub>2</sub> emissions, network traffic, heuristic algorithm.

### 1. Kirish

Zamonaviy infokommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi va IoT qurilmalar sonining 2027 yilga kelib 100 milliard birlikka yetishi kutilayotgan sharoitda energiya samaradorligi masalasi global miqyosda hal etilishi zarur bo'lgan ustuvor muammoga aylanib bormoqda. Axborot va kommunikatsiya texnologiyalari sohasi 2027 yilga kelib jahon elektr



energiyasi talabining 20 foizini iste'mol qilishi va 730 million tonna CO<sub>2</sub> ekvivalenti emissiyasiga sabab bo'lishi prognoz qilinmoqda. An'anaviy bulut asosidagi infokommunikatsiya tizimlari esa heterogen sensorlardan keluvchi ma'lumotlarni to'liq markaziy ma'lumotlar markaziga uzatishni talab etib, tarmoq infratuzilmasiga ulkan yuk tushiradi, real vaqtli qayta ishlash sifatini pasaytiradi va energiya sarfini ortiqcha darajada oshiradi. Bunday sharoitda IoT ekotizimida energiya sarfini optimallashtirish, hisoblash yukini tarmoq qatlamlari o'rtasida maqsadli taqsimlash va energiyatejamkor texnologik yondashuvlarni ilmiy asosda ishlab chiqish zarurati infokommunikatsiya sohasining dolzarb ilmiy-amaliy muammosi sifatida namoyon bo'lmoqda.

Mazkur mavzuning dolzarbligi, bir tomondan, mavjud ilmiy adabiyotlarda IoT asosidagi infokommunikatsiya tizimlarida energiya samaradorligini oshirishning kompleks - arxitektura, simsiz uzatish texnologiyasi va resurslarni boshqarish strategiyalarini birgalikda qamrab oluvchi - tadqiqotlar yetarli darajada ishlab chiqilmaganligida ko'rinsa, ikkinchi tomondan, O'zbekistonda raqamlashtirish va "Aqlli shahar", "Aqlli qishloq xo'jaligi" dasturlari doirasida IoT infratuzilmasini keng joriy etish bo'yicha davlat siyosatining faol olib borilayotganligida namoyon bo'ladi. Edge-Fog-Cloud arxitekturasi, LPWA simsiz texnologiyalari va intellektual energiya boshqaruvi mexanizmlarini tadqiq etish hamda ularning samaradorligini miqdoriy ko'rsatkichlar orqali baholash nafaqat nazariy bilimlar majmuasini boyitadi, balki O'zbekiston infokommunikatsiya tarmoqlarini energiya tejamkor asosda modernizatsiya qilish uchun ilmiy asos yaratadi. Shu sababli ushbu dissertatsiya mavzusi hozirgi kunda ham nazariy, ham amaliy jihatdan muhim ilmiy ahamiyat kasb etadi.

## 2. Adabiyotlar tahlili.

Mavzu doirasida olib borilgan ilmiy-amaliy tadqiqotlarni tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, birinchi guruhni tarmoq qatlami va protokollar darajasida energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan ishlar tashkil etadi. Zhang Y. va Wang X. "Green IoT" konsepsiyasi doirasida marshrutlash, ma'lumotlarni agregatsiyalash va uzatish intervalini moslashtirish orqali IoT qurilmalarining energiya sarfini kamaytirish mumkinligini asoslab bergan[3]. Rossi A. va Conti M. MQTT asosidagi IoT aloqalarining energiya ko'rsatkichlarini eksperimental tahlil qilgan va protokol konfiguratsiyasining energiya sarfiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini isbotlagan[15]. Xu J. va Zawood S. esa sensor tarmoqlarida energiyatejamkor siqish algoritmlarini ishlab chiqib, uzatish xarajatlarini kamaytirish imkoniyatlarini ko'rsatgan[16]. Kim D. va Lee S. ham shu yo'nalishda ma'lumotlarni siqish asosida energiya optimallashtirish modelini taklif etgan[13]. Ushbu tadqiqotlar majmuasi tarmoq va protokol darajasidagi optimallashtirishning energiya samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatishini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

Ikkinchi guruhni hisoblash yukini taqsimlash va offloading strategiyalariga bag'ishlangan tadqiqotlar tashkil etadi. Rahman M., Hassan M. va hammualliflar Edge-Fog-Cloud arxitekturasi asosida hisoblash yukini qatlamlar bo'yicha taqsimlash orqali tarmoq yuklanishi, kechikish va energiya sarfini bir vaqtda optimallashtirish mumkinligini real vaqt tajribalari bilan isbotlagan[4]. Wang S. va Zhang L. cloud-assisted MEC arxitekturasi energiya tejamkor hisoblash modelini ishlab chiqib, hisoblash vazifalarini moslashtirish orqali qurilma energiya sarfini kamaytirish imkonini ko'rsatgan[11]. Liu H. va Zhu Y. statik va dinamik parametrlarni uyg'unlashtiruvchi gibril energiyatejamkor computation offloading algoritmini taklif etgan[12]. Al-Hawawreh M. va Sitnikova E. esa xavfsizlik talablarini hisobga olgan holda offloading strategiyalarini ishlab chiqib, NOMA texnologiyalari bilan integratsiya samaradorligini ko'rsatgan[7]. Ahmed E. va Yaqoob I. ham Edge-Fog-Cloud muhitida resurslarni dinamik taqsimlash orqali energiya sarfini kamaytirishni ta'minlovchi boshqaruv modelini taklif etgan[18]. Bu guruh tadqiqotlari hisoblash yukini maqsadli taqsimlashning energiya samaradorligini oshirishdagi hal qiluvchi ahamiyatini ko'rsatadi.

Uchinchi guruhni simsiz uzatish texnologiyalarining energiya samaradorligi bo'yicha qiyosiy tahlilga bag'ishlangan ishlar tashkil etadi. Adelantado F. va Vilajosana X. LoRaWAN texnologiyasining masshtablanuvchanligi va energiya samaradorligini tahlil qilib, kanal boshqaruvi va adaptiv uzatish tezligining energiya tejamkorligini oshirishdagi muhim rolini ko'rsatgan[9]. Mekki K., Bajic E. va Chaxel F. NB-IoT tarmoqlarida energiya samaradorligini keng qamrovli sharh asosida tahlil qilib, LPWAN texnologiyalarining batareya umrini uzaytirishdagi ustunliklarini asoslab bergan[6]. Khan R. va Sharma S. esa NB-IoT hamda LoRaWAN texnologiyalarini turli ssenariylarda qiyosiy baholagan va amaliy tanlov mezonlarini ishlab chiqib, IoT loyihalarida optimal texnologiyani tanlashga yordam beruvchi ilmiy asos yaratgan[10]. Nguyen T. va Armitage G. energiya harvesting texnologiyalarining IoT tarmoqlarida qo'llanilishini o'rganib, muqobil energiya manbalari orqali qurilmalarni avtonom ishlashini ta'minlash imkoniyatlarini ilmiy asoslagan[8]. Ushbu guruh tadqiqotlari turli simsiz texnologiyalarning muayyan sharoit uchun maqbulligini aniqlashda metodologik asos bo'lib xizmat qiladi.

To'rtinchi guruhni sun'iy intellekt, SDN va kelajak tarmoqlari asosidagi energiya boshqaruvi yondashuvlarini o'rganuvchi tadqiqotlar tashkil etadi. Li Q. va Chen J. SDN asosida IoT tarmoqlarida markazlashtirilgan boshqaruv yordamida trafik oqimlarini dinamik boshqarish energiya sarfini kamaytirishga xizmat qilishini ko'rsatgan[5]. Zhang X. va Gupta R. federativ o'qitishning energiya samaradorligini o'rganib, aloqa raundlarini optimallashtirish orqali IoT qurilmalarida energiya sarfini kamaytirish mumkinligini asoslagan[14]. Saad W. va Bennis M. 6G asosidagi IoT tarmoqlarida sun'iy intellekt yordamida resurs boshqaruvi "green networking" konsepsiyasini amalga oshirishda muhim vosita ekanligini ko'rsatgan[17]. Wang Z. va Zhu Q. ham 6G va massiv IoT tarmoqlarida AI asosidagi arxitekturalar energiya samaradorligini oshirishdagi strategik rolini tadqiq etgan[22]. Singh P. va Kumar N. fog muhitida energiya-aware marshrutlash va yuklama taqsimlash yondashuvlarini umumlashtirgan[19]. Garcia L. va Torralba A. esa IoT asosida aqlli bino energiya boshqaruvi tizimini real tajriba orqali tasdiqlab, amaliy tatbiq imkoniyatlarini ko'rsatgan[20]. Al-Fuqaha A. va Guizani M. "Green IoT" konsepsiyasi doirasida energiya boshqaruvi va harvesting strategiyalarini tizimlashtirgan holda barqaror IoT ekotizimini shakllantirishga qaratilgan istiqbolli yo'nalishlarni belgilab bergan[21]. Bu guruh tadqiqotlari infokommunikatsiya tizimlarida energiya samaradorligini oshirishda intellektual yondashuvlarning kelajakdagi ahamiyatini yaqqol ko'rsatib beradi.

### 3. IoT simsiz tarmoq texnologiyalarining qiyosiy tahlili

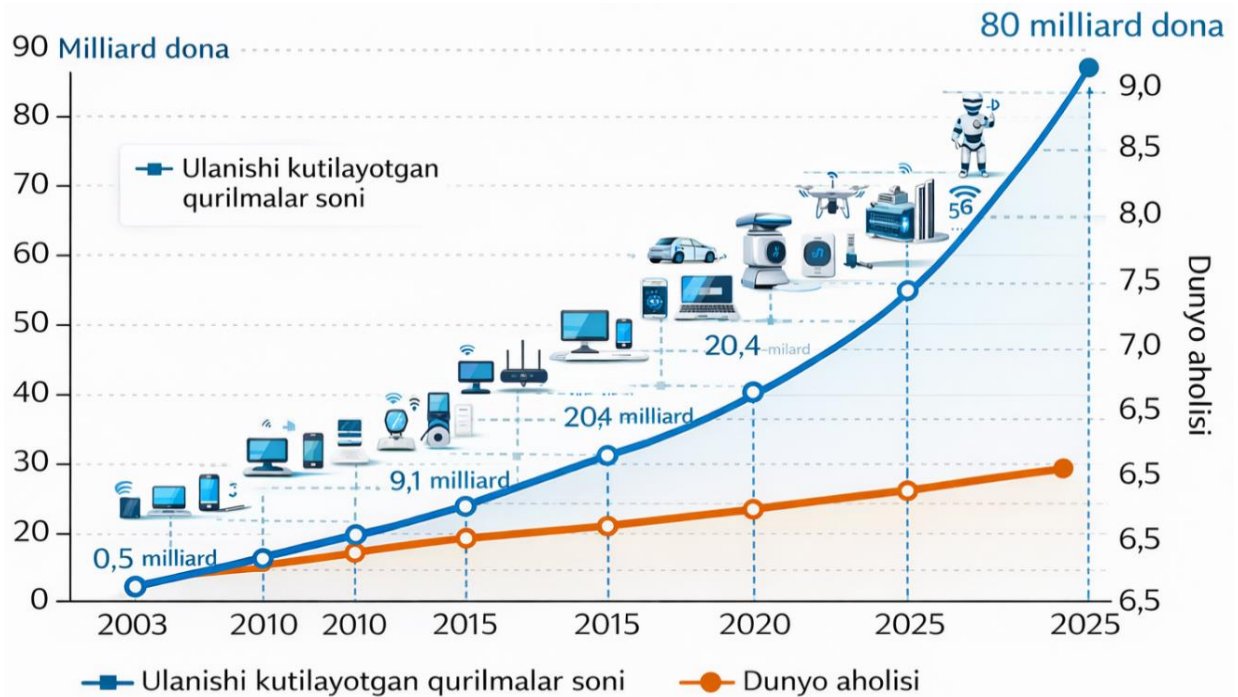
IoT tizimlarining umumiy tuzilmasi bir nechta asosiy imkon beruvchi texnologiyalarga, jumladan simsiz sensor tarmoqlari (WSN), bulutli hisoblash, mashinaviy o'rganish va peer-to-peer tizimlariga tayanadi. Ushbu texnologiyalar ichida WSN IoT tarmoqlarida aloqa jarayonining eng muhim va markaziy qismi hisoblanadi. WSNlarda sensor tugunlar atrof-muhitdan zarur ma'lumotlarni aniqlash, ularni qayta ishlash va boshqa tugunlar bilan ma'lumot almashish vazifasini bajaradi.

Biroq sensor tugunlarning ishlash muddati odatda cheklangan quvvat manbai - batareyaga bog'liq bo'lib, bu ularning hisoblash imkoniyatlari, xotira hajmi va radioaloqa resurslarini keskin cheklaydi. Shu sababli energiya samaradorligi WSNlar uchun eng muhim muammolardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, energiyaning asosiy qismi ma'lumotlarni qayta ishlash va uzatish jarayonlarida sarflanadi[10].

Mazkur holat IoT va WSN asosidagi tizimlarda energiya tejash masalasini dolzarb ilmiy muammo sifatida yuzaga chiqaradi. Aynan shu sababli ushbu ish IoT va WSN texnologiyalarining qisqacha tavsifini berish bilan birga, IoT inqilobini ta'minlagan WSNlarning rolini yoritishga qaratilgan. Shuningdek, tadqiqot energiyani tejashni IoT va WSNlar oldida turgan asosiy muammolardan biri sifatida ko'rib chiqadi.



Natijada ushbu tadqiqot IoT va WSN tarmoqlarida energiya sarfiga ta'sir qiluvchi omillarni aniqlash, ularni tahlil qilish hamda energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan mavjud yondashuvlarni o'rganishga motivatsiya bo'lib xizmat qiladi. Bu esa tarmoq umrini uzaytirish va IoT tizimlarining barqaror ishlashini ta'minlash uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. Dunyo aholisi va IoT qurilmalari sonining o'sishi

Rasmda dunyo aholisi soni asta-sekin o'sib borayotgani, biroq internetga ulangan qurilmalar soni aholi o'sishiga nisbatan ancha tez va eksponensial sur'atda ko'payayotgani yaqqol ko'rinadi. Ya'ni har bir inson ulushiga to'g'ri keladigan ulangan qurilmalar soni yildan-yilga ortib, "bitta odam - bir nechta qurilma" holati barqaror tendensiyaga aylanmoqda. Bu esa IoT ekotizimida sensorlar, aqlli uy qurilmalari, transport va sanoat obyektlari kabi "narsalar" soni keskin ko'payishini anglatadi [1].

Shu dinamik o'sish tarmoq infratuzilmasiga katta bosim beradi: ko'proq qurilma - ko'proq trafik, ko'proq xizmatlar va ko'proq uzluksiz ulanish talabini keltirib chiqaradi. Natijada tarmoqlarda o'tkazuvchanlik, kechikish, qamrov va xavfsizlik kabi ko'rsatkichlarni bir vaqtda ta'minlash murakkablashadi. Ayniqsa cheklangan resursli IoT qurilmalarida (batareya, xotira, protsessor) bu jarayonlar yanada sezgir bo'ladi.

Bundan tashqari, simsiz sensor tarmoqlariga asoslangan IoT yechimlari atrof-muhitni monitoring qilishda ham keng qo'llaniladi. Ular yordamida vulqon faolligi, suv toshqinlari, o'rmon yong'inlari kabi turli fizik hodisalarni aniqlash va o'lchash mumkin bo'lib, bu tabiiy ofatlar xavfini kamaytirish va oldindan ogohlantirish tizimlarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Umuman olganda, keltirilgan misollar IoT texnologiyalarining turli sohalardagi amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini aks ettiruvchi ko'plab yechimlarning faqat kichik bir qismini tashkil etadi.

1-jadval. IoT simsiz tarmoq texnologiyalarining qiyosiy tahlili

Texnologiya	Ma'lumot uzatish tezligi	Qamrov masofasi	Qo'llab-quvvatlanadigan qurilmalar soni	Sensor quvvat sarfi	Gateway / baza stansiya quvvat sarfi
Zigbee	Past ( $\approx 250$ kbps)	Juda qisqa ( $\approx 20$ m)	Kam (o'nlab – yuzlab)	Juda past	Past
LoRa / LoRaWAN	Past ( $\approx 0.3-50$ kbps)	Juda katta ( $\approx 10-15$ km)	Juda ko'p (minglab)	Juda past	O'rtacha
NB-IoT	O'rtacha ( $\approx 250$ kbps)	Katta ( $\approx 10$ km)	Juda ko'p	Past	Yuqori
5G	Juda yuqori (Gbps daraja)	O'rtacha	Juda ko'p	Yuqori	Juda yuqori

Mazkur jadvaldan ko'rinadiki, LoRa/LoRaWAN texnologiyasi aqlli qishloq xo'jaligi tizimlari uchun eng maqbul yechim hisoblanadi, chunki u katta qamrov masofasi, past energiya sarfi va ko'p sonli sensorlarni qo'llab-quvvatlash imkoniyatini ta'minlaydi. Zigbee texnologiyasi past quvvat sarfiga ega bo'lsa-da, qisqa qamrov masofasi sababli keng qishloq xo'jaligi maydonlari uchun samarali emas. NB-IoT yuqori ishonchlilikni ta'minlansa-da, operator infratuzilmasiga bog'liqligi va nisbatan yuqori baza stansiya energiya sarfi bilan ajralib turadi. 5G esa yuqori tezlikni ta'minlashi bilan birga, energiya samaradorligi past bo'lgani sababli real vaqt qishloq xo'jaligi sensor tarmoqlarida cheklangan darajada qo'llaniladi.

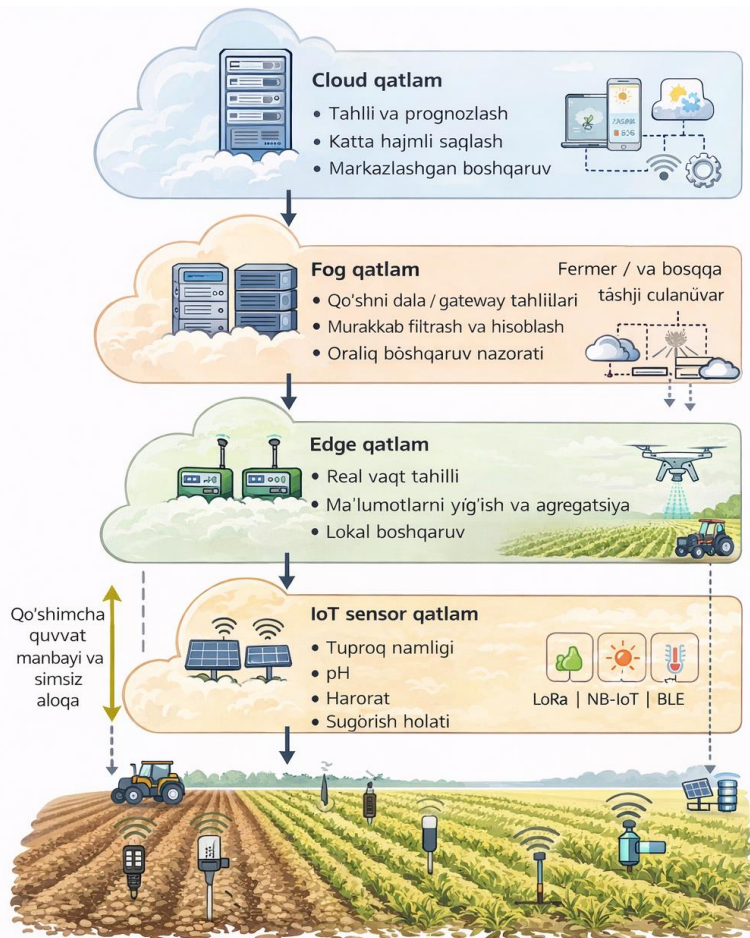
2-jadval. Edge-Fog-Cloud arxitekturasi turli sohalarda qo'llanilishi

Soha	Edge qatlam roli	Fog qatlam roli	Cloud qatlam roli	Asosiy afzallik
Aqlli shaharlar (Smart City)	Real vaqt monitoringi (trafik, yoritish)	Hududiy tahlil va muvofiqlashtirish	Uzoq muddatli rejalashtirish va statistika	Past kechikish va samarali resurs boshqaruvi
Sog'liqni saqlash (e-Health)	Bemor holatini real vaqtda tahlil qilish	Shifoxona darajasida monitoring	AI asosida tashxis va ma'lumot saqlash	Tezkor javob va yuqori ishonchlilik
Sanoat IoT (Industry 4.0)	Sensor va uskunalarni boshqarish	Sex/zavod darajasida optimallashtirish	Ishlab chiqarishni tahlil va prognozlash	Avariya xavfini kamaytirish
Aqlli transport tizimlari	Transport vositasida tezkor qarorlar	Chorrahada va yo'l infratuzilmasida boshqaruv	Transport oqimini global optimallashtirish	Xavfsizlik va tirbandlikni kamaytirish



<b>Energetika (Smart Grid)</b>	Sensordan real vaqt o'lovlar	Hududiy energiya balansini boshqarish	Markaziy energiya siyosati va tahlil	Energiya yo'qotishlarini kamaytirish
<b>Multimedia va AR/VR</b>	Lokal kesh va real vaqt ishlovi	Kontentni yaqin foydalanuvchilarga tarqatish	Kontent boshqaruvi va tahlil	Yuqori xizmat sifati (QoS)
<b>Qishloq xo'jaligi (Smart Agriculture)</b>	Sensordan ma'lumot yig'ish	Dalalar kesimida tahlil	Prognoz va strategik rejalashtirish	Suv va energiya tejamkorligi
<b>Xavfsizlik va videokuzatuv</b>	Kamera oqimini real vaqtda tahlil qilish	Hududiy obyektlarni nazorat qilish	Katta hajmli video arxiv va AI tahlil	Tezkor aniqlash va javob

Jadvaldan ko'rinadiki, Edge-Fog-Cloud arxitekturasi turli sohalarda hisoblash va aloqa yukini qatlamlar bo'yicha oqilona taqsimlash imkonini beradi. Edge qatlam real vaqt va kechikishga sezgir vazifalarni bajaradi, Fog qatlam hududiy muvozanatni ta'minlaydi, Cloud qatlam esa global tahlil va prognozlashni amalga oshiradi[2]. Natijada ushbu arxitektura energiya samarador, masshtablanuvchan va barqaror raqamli tizimlarni yaratish uchun universal yechim sifatida namoyon bo'ladi.



2-rasm. IoT asosidagi aqlli qishloq xo'jaligi tizimi uchun Edge-Fog-Cloud arxitekturasi



Mazkur rasm IoT asosidagi aqlli qishloq xo'jaligi tizimi uchun Edge-Fog-Cloud arxitekturasini qatlamlar bo'yicha aniq va mantiqiy tarzda tasvirlaydi.

### ***Edge-Fog-Cloud arxitekturasining samaradorlik ko'rsatkichlarini hisoblash***

Arxitektura ma'lumotlarni yig'ishdan tortib, chuqur tahlil va markazlashgan boshqaruvga bo'lgan jarayonlarni bosqichma-bosqich tashkil etishga qaratilgan bo'lib, real vaqt ishlovi, energiya tejamkorlik va masshtablanuvchanlikni ta'minlashni ko'zda tutadi.

1. IoT sensor qatlamining tahlili. Rasmning eng quyi qismida IoT sensor qatlam joylashgan bo'lib, u qishloq xo'jaligi maydonida to'g'ridan-to'g'ri joylashtirilgan fizik qurilmalarni ifodalaydi. Ushbu qatlam tuproq namligi, pH, harorat va sug'orish holati kabi muhim agrotexnik parametrlarni doimiy ravishda o'lchaydi. Sensorlar LoRa, NB-IoT va BLE kabi past quvvatli simsiz texnologiyalar orqali yuqori qatlamlarga ma'lumot uzatadi. Rasmda ko'rsatilgan qo'shimcha quvvat manbalari (masalan, quyosh panellari) ushbu qatlamning energiya jihatidan avtonom ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi.

2. Edge qatlamining funksional roli. IoT sensor qatlamidan yuqorida joylashgan Edge qatlam real vaqtga sezgir vazifalarni bajarishga mo'ljallangan. Rasmda Edge darajasida ma'lumotlarni yig'ish, agregatsiya qilish va tezkor tahlil qilish jarayonlari ko'rsatilgan. Masalan, dronlar va mahalliy qurilmalar yordamida daladagi holat bo'yicha darhol qaror qabul qilish mumkin. Ushbu qatlam lokal boshqaruv imkonini berib, barcha ma'lumotlarni cloud'ga yubormasdan, tarmoq yuklamasi va kechikishni sezilarli darajada kamaytiradi.

3. Fog qatlamining oraliq boshqaruv vazifasi. Rasmda Fog qatlam Edge va Cloud o'rtasidagi oraliq hisoblash muhiti sifatida aks ettirilgan. Bu qatlam qo'shni dalalar yoki gateway darajasida murakkab filtrlash va hisoblashni amalga oshiradi. Fog darajasida ma'lumotlar birlashtiriladi, ortiqcha yoki takroriy axborotlar yo'q qilinadi va faqat zarur bo'lgan ma'lumotlar yuqori qatlamga uzatiladi. Shu bilan birga, rasmda fermerlar va tashqi foydalanuvchilarning Fog qatlam bilan o'zaro aloqasi ko'rsatilgan bo'lib, bu tizimning amaliy boshqaruvga yaqinligini ifodalaydi.

4. Cloud qatlamining strategik ahamiyati. Rasmning eng yuqori qismida joylashgan Cloud qatlam tizimning markazlashgan intellektual markazi hisoblanadi. Ushbu qatlam katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlash, chuqur tahlil qilish va prognozlash vazifalarini bajaradi. Masalan, hosildorlikni bashorat qilish, ob-havo ma'lumotlari bilan integratsiya va uzoq muddatli rejalashtirish aynan Cloud darajasida amalga oshiriladi. Markazlashgan boshqaruv mexanizmlari orqali Cloud qatlam quyi qatlamlarga tavsiyalar va boshqaruv buyruqlarini uzatadi [13].

Rasmda tasvirlangan Edge-Fog-Cloud arxitekturasida aqlli qishloq xo'jaligi tizimlarida hisoblash va aloqa yukini qatlamlar bo'yicha muvozanatli taqsimlash imkonini beradi. IoT sensorlar energiya jihatidan tejamkor ishlaydi, Edge qatlam real vaqt qarorlarini qabul qiladi, Fog qatlam tizimni hududiy darajada optimallashtiradi, Cloud esa strategik tahlil va prognozlashni ta'minlaydi. Natijada ushbu arxitektura yuqori samaradorlik, past kechikish va barqaror energiya boshqaruvini ta'minlovchi kompleks yechim sifatida namoyon bo'ladi.

Ushbu ishda taklif etilgan edge-fog-cloud arxitekturasining uchta asosiy ko'rsatkich bo'yicha an'anaviy bulut arxitekturasiga bilan qiyosiy tahlilini o'z ichiga oladi: energiya sarfi, CO<sub>2</sub> chiqindilari va tarmoq trafigi.

Model CPLEX yechuvchisi (IBM ILOG CPLEX Optimization Studio) yordamida ishga tushirilgan. CPLEX - aralash butun sonli chiziqli dasturlash (MILP) masalalarini hal qilish uchun sanoatda keng qo'llaniladigan professional optimizatsiya vositasidir.

Model quyidagi texnik xususiyatlarga ega kompyuterda baholangan:

*Protsessor:* Intel Core i7-7660U;

*Taktli chastota:* 2.50 GHz;

*Operativ xotira:* 16 GB RAM;

*Qurilma turi:* Noutbuk.



Model haqiqiy AT&T WAN tarmoq topologiyasi asosida sinovdan o'tkazilgan. Bu topologiya 25 ta tugundan iborat bo'lib, keng tarmoq infratuzilmasini modellashtirish uchun standart sinov muhiti sifatida qo'llaniladi. Ulanishlar turli yo'nalishlardagi fizik tolali liniyalar orqali amalga oshirilgan.

Modelda uchta telekommunikatsiya tarmoq qatlami sozlangan:

LAN (Mahalliy tarmoq) - edge qatlami bilan bog'liq. Passiv optik tarmoq (PON) texnologiyasi asosida qurilgan bo'lib, ONU va OLT qurilmalari orqali sensorlardan ma'lumot qabul qiladi.

MAN (Shahar tarmoqi) - fog qatlami bilan bog'liq. Metro Ethernet texnologiyasi qo'llanilgan va MAN routerlari hamda switchlari orqali LAN bilan WAN ni bog'laydi.

WAN (Keng hududli tarmoq) - cloud qatlami bilan bog'liq. IP over WDM (To'lqin uzunligini bo'lish multiplekslash) texnologiyasi asosida qurilgan bo'lib, core routerlar, transponderlar, kuchaytirgichlar va optik switchlardan iborat.

Modelda 100,000 sensor har bir ferma uchun sozlangan va vazifalar uch turga bo'lingan:

Sezish vazifalari - 60% (500 MIPS);

Qayta ishlash vazifalari - 30% (2000 MIPS);

Og'ir qayta ishlash - 10% (5000 MIPS).

Taklif etilgan arxitekturada har bir vazifa turining quvvat sarfini va ularning joylashuvini ko'rsatadi. Natijalar quyidagicha:

Sezish vazifalari (60%) - edge qatlamiga yuboriladi, chunki bu qatlam 1800 MIPS imkoniyatiga ega va sezish vazifasi atigi 500 MIPS talab qiladi. Ya'ni edge qatlami bu vazifani mustaqil bajara oladi va ma'lumotlar fog yoki bulutga umuman uzatilmaydi. Bu esa tarmoq yukini va energiya sarfini sezilarli darajada kamaytiradi.

Qayta ishlash vazifalari (30%) - fog qatlamiga yuboriladi, chunki fog 4000 MIPS imkoniyatiga ega, bu esa 2000 MIPS talab qiluvchi vazifalarni bajarishga yetarli. Sensordan to'g'ridan-to'g'ri bulutga uzatish o'rniga, ma'lumot fog serverida mahalliy qayta ishlanadi.

Og'ir qayta ishlash vazifalari (10%) - faqat shu qism cloud qatlamiga yuboriladi, chunki 5000 MIPS talab qiluvchi og'ir vazifalarni (ob-havo bashorati, yong'in ogohlantiruvchi) na edge, na fog qatlami bajara olmaydi.

O'lchov haqiqiy tajriba emas, balki matematik modellashtirish orqali amalga oshirildi. Muallif IBM CPLEX yechuvchisi yordamida Aralash Butun Sonli Chiziqli Dasturlash (MILP) modelini ishga tushirdi. Ya'ni har bir texnologiya uchun quvvat sarfi formulalar orqali hisoblandi, real dala tajribasida emas.

Har bir simsiz texnologiya (LoRa, NB-IoT, 5G, Zigbee) uchun ikkita stsenariy solishtirildi:

Stsenariy 1 - Taklif etilgan arxitektura: IoT sensor qatlami → Edge → Fog → Cloud zanjiri bo'yicha vazifalar taqsimlangan holda umumiy quvvat sarfi hisoblanadi.

Stsenariy 2 - An'anaviy bulut arxitekturasi: Barcha vazifalar to'g'ridan-to'g'ri bulutga yuborilgan holda umumiy quvvat sarfi hisoblanadi.

Har bir texnologiya uchun quyidagi parametrlar adabiyotdan olingan va modelga kiritilgan:

3-jadval. Texnologiyalar parametrlari

Parametr	LoRa	NB-IoT	5G	ZigBee
Gateway quvvati	30 W	-	11,500 W	1 W
Sensor quvvati	0.44 W	0.55 W	0.4 W	0.1 W

<b>Ma'lumot tezligi</b>		200 Kbps	20 Gbps	250 Kbps
<b>Qamrov radiusi</b>	10 km	15 km	28 km	20 m

Ikki stsenariy o'rtasidagi farq tejash ko'rsatkichi sifatida olingan.

Model quyidagi barcha qatlamlar quvvatini yig'ib hisobladi:

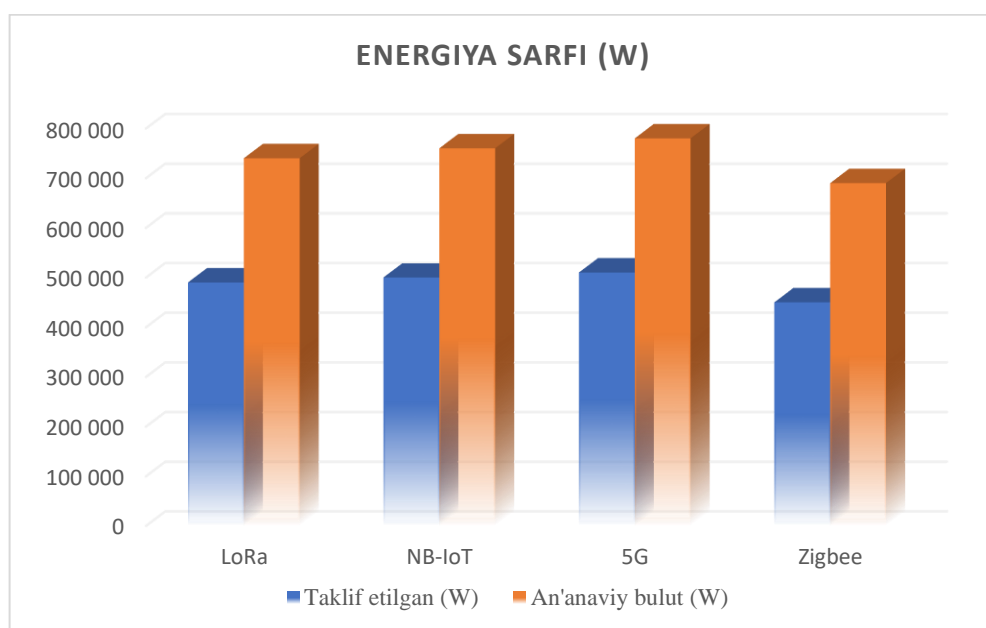
$$Jami\ quvvat = WAN + MAN + LAN + IoT + Cloud + Fog + Edge$$

Har bir texnologiya uchun faqat IoT sensor qatlami quvvati o'zgaradi, qolgan qatlamlar (LAN, MAN, WAN, Edge, Fog, Cloud) doimiy qoladi. Shuning uchun texnologiyalar orasidagi farq nisbatan kichik - 33.6% dan 35.6% gacha.

4-jadval. Simsiz texnologiyalar bo'yicha energiya sarfi

Texnologiya	Standart	Ma'lumot tezligi	Qamrov radiusi	Taklif etilgan (W)	An'anaviy bulut (W)	Tejash (W)	Tejash (%)
LoRa	LoRaWAN	50 Kbps	10 KM	490 000	740 000	250 000	33,8%
NB-IoT	3GPP Cat-NB1	200 Kbps	15 KM	500 000	760 000	260 000	34,2%
5G	IMT-2020	20 Gbps	28 KM	510 000	780 000	270 000	34,6%
Zigbee	IEEE 802.15.4	250 Kbps	20 M	450 000	690 000	240 000	34,8%
JAMI O'RTACHA				487 500	742 500	255 000	34,3%

Zigbee gateway quvvati atiga 1 Vatt bo'lib, LoRa (30 W), NB-IoT va 5G ga nisbatan ancha past. Shuning uchun IoT qatlami umumiy quvvat sarfiga qo'shadigan ulushi Zigbeeda eng kichik. Ammo bu texnologiyaning qamrovi faqat 20 metr bo'lganligi sababli, katta ferma maydonini qoplash uchun yuzlab gateway kerak bo'ladi - bu esa amalda qo'llanilishini cheklaydi.



3-rasm. Simsiz texnologiyalar bo'yicha energiya sarfi



Karbon izi quyidagi umumiy formula orqali hisoblandi:

$$CO_2 = \text{Energiya sarfi (kWh)} \times \text{Karbon intensivligi (kgCO}_2\text{/kWh)} \quad (3.1)$$

Lekin bu formula har bir qatlam uchun alohida qo'llanildi, chunki har bir qatlam har xil energiya manбайдan foydalanadi.

Karbon intensivligi - bitta birlik energiya ishlab chiqarish jarayonida atmosferaga chiqariladigan CO<sub>2</sub> miqdorini ko'rsatuvchi o'lchov. Odatda kgCO<sub>2</sub>/kWh birligida ifodalanadi, ya'ni 1 kilovatt-soat elektr energiya ishlab chiqarishda necha kilogramm CO<sub>2</sub> chiqariladi.

Tasavvur qiling, siz 1 soat davomida 1000 Vattli elektr isitgich ishlatdingiz. Bu 1 kWh energiya sarfladi. Agar bu energiya neft bilan ishlab chiqarilgan bo'lsa, atmosferaga 0.935 kg CO<sub>2</sub> chiqariladi. Agar ayni shu energiya quyosh paneli bilan ishlab chiqarilgan bo'lsa, atiga 0.048 kg CO<sub>2</sub> chiqariladi[20].

Neft yoqilganda kimyoviy reaksiya natijasida uglerod atomlari kislorod bilan birikib CO<sub>2</sub> hosil qiladi va bu to'g'ridan-to'g'ri atmosferaga chiqadi. Quyosh paneli esa yorug'likni bevosita elektr energiyaga aylantiradi - yonish jarayoni umuman bo'lmaydi. Quyosh panelining 0.048 kgCO<sub>2</sub>/kWh ko'rsatkichi ham nolga teng emas, chunki panelni ishlab chiqarish va o'rnatish jarayonida ma'lum miqdorda CO<sub>2</sub> chiqariladi, lekin bu butun xizmat muddatiga bo'lib tashlanganda juda kichik son chiqadi.

5-jadval. Turli energiya manbalari karbon intensivligi

Energiya manbai	Karbon intensivligi	Izoh
Quyosh paneli	0.048 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Ishlab chiqarish xarajati hisobida
Shamol	0.011 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Eng toza manba
Yadro	0.012 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Deyarli CO <sub>2</sub> yo'q
Tabiiy gaz	0.490 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Neftdan yaxshiroq
Neft	0.935 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Maqolada ishlatilgan
Ko'mir	1.000 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Eng iflos manba

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, energiya manbalarining karbon intensivligi katta farq qiladi. Eng toza manbalar sifatida shamol va yadro energiyasi ajralib turadi, ular deyarli CO<sub>2</sub> chiqarmaydi, quyosh energiyasi ham nisbatan past emissiyaga ega. Shu bilan birga, tabiiy gaz, neft va ayniqsa ko'mir kabi yoqilg'ilar ancha iflos hisoblanadi, ularning ishlatilishi katta miqdorda karbon chiqindilarini keltirib chiqaradi. Demak, ekologik jihatdan barqaror energiya manbalariga o'tish karbon izini kamaytirishda muhim omil hisoblanadi.

6-jadval. Qo'llanilgan yoqilg'i turi uchun karbon chiqindi koeffitsienti

Energiya manbai	Karbon intensivligi	Qaysi qatlam
Neft yoqilg'isi (O)	0.935 kgCO <sub>2</sub> /kWh	Fog, Cloud, MAN, WAN, LAN
Quyosh paneli (S)	0.048 kgCO <sub>2</sub> /kWh	IoT sensor, Edge qatlami

Ikkita omil birgalikda katta natija berdi.

Birinchi omil - energiya tejash: Taklif etilgan arxitektura an'anaviy bulutga nisbatan umumiy quvvat sarfini 36% kamaytiradi. Kam energiya sarflansa, tabiiyki kam CO<sub>2</sub> ham chiqadi.

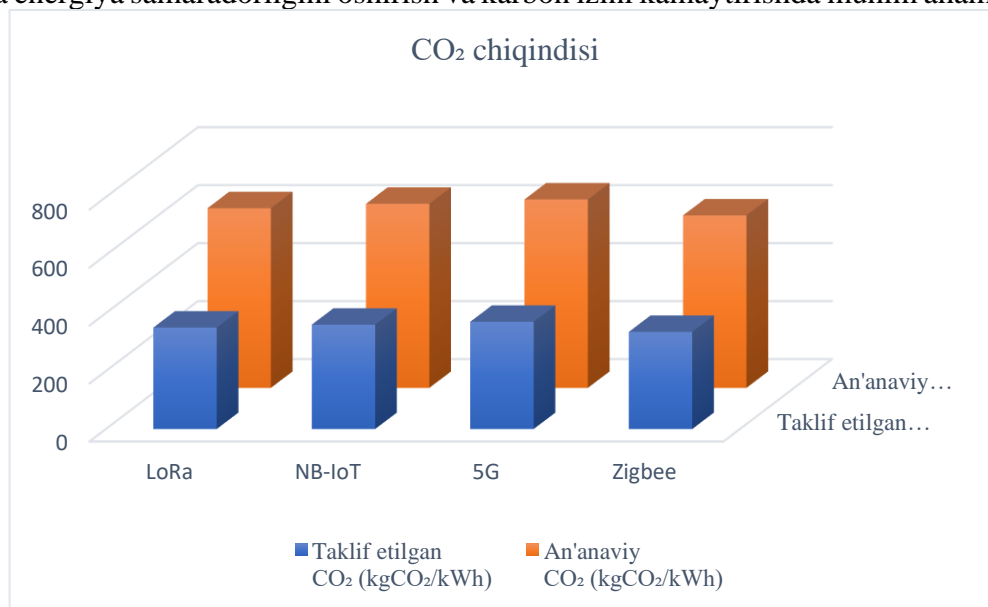
Ikkinchi omil - energiya manbai almashtirish: IoT sensor va Edge qatlamlari quyosh energiyasiga o'tkazildi. Quyoshning karbon koeffitsienti neftnikidan deyarli 20 baravar past (0.048 vs 0.935). Bu qismlar energiyaning eng ko'p iste'mol qilinadigan va eng ko'p tarqalgan qatlamlari bo'lganligi sababli, manbani almashtirish yakuni juda katta farq yaratdi.

Bu ikki omilning birgalikdagi ta'siri 36% energiya tejashdan yuqori bo'lgan 43% CO<sub>2</sub> kamayishini ta'minladi.

7-jadval. Simsiz texnologiyalar bo'yicha karbon chiqindi koeffitsienti

Texnologiya	Standart	Taklif etilgan CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	An'anaviy CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Kamayish (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Kamayish (%)
<b>LoRa</b>	LoRaWAN	350	620	270	43,5%
<b>NB-IoT</b>	3GPP Cat-NB1	360	635	275	43,3%
<b>5G</b>	IMT-2020	370	650	280	43,1%
<b>Zigbee</b>	IEEE 802.15.4	335	595	260	43,7%
<b>O'rtacha</b>		<b>354</b>	<b>625</b>	<b>271</b>	<b>43,4%</b>

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, barcha ko'rsatilgan IoT va simsiz tarmoqlar uchun taklif etilgan energiya yechimlari an'anaviy yechimlarga nisbatan CO<sub>2</sub> chiqindilarini sezilarli darajada kamaytiradi. Eng katta kamayish foizi ZigBee (43,7%) bilan ajralib turadi, qolgan texnologiyalarda kamayish 43–43,5% oralig'ida. O'rtacha qiymat bo'yicha, taklif etilgan yechimlar an'anaviy energiya manbalariga qaraganda taxminan 43,4% kamroq karbon emissiyasi bilan ekologik jihatdan samaraliroq ekanligini ko'rsatadi. Bu, ayniqsa IoT sensorlar va Edge qatlamida energiya samaradorligini oshirish va karbon izini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega.



4-rasm. Simsiz texnologiyalar bo'yicha karbon chiqindi koeffitsienti



Asosiy hisoblash vositasi sifatida MILP - aralash butun sonli chiziqli dasturlash (Mixed Integer Linear Programming) modeli qoʻllanildi. MILP modeli ikkita turdagi oʻzgaruvchilarni birlashtiradi: birinchisi donalab (0 yoki 1) oʻzgaruvchilar boʻlib, ular vazifalarni qaysi qatlamga - edge, fog yoki cloudga - joylashtirishni belgilaydi; ikkinchisi uzluksiz oʻzgaruvchilar boʻlib, har bir qatlam va tarmoq segmentiga qancha oʻtkazuvchanlik ajratilishini aniqlaydi. Bu ikki turdagi oʻzgaruvchining birgalikda ishlatilishi NP-qiyyin muammolarni modellashtirish imkonini beradi.

**Tajribaviy tahlillar va natijalar muhokamasi**

MILP modelini yechish uchun CPLEX komertsial optimallashtirish yechuvchisi tanlab olingan. CPLEX - IBM kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan, sanoat va ilmiy tadqiqotlarda keng qoʻllaniladigan yuqori samarali matematik optimallashtirish dasturi. U katta hajmli MILP masalalarini global optimal yechim topguncha yoki belgilangan vaqt chegarasiga yetguncha izlash usuli bilan ishlaydi. Mualliflar CPLEX yordamida qurilgan modelni haqiqiy optimal yechim sifatida qabul qilishdi.

Barcha simulyatsiyalar oddiy tijorat laptop kompyuterida oʻtkazildi: Intel Core i7-7660U protsessori (2.50 GHz), 16 GB operativ xotira. Bu muhim metodologik signal boʻlib, taklif etilgan arxitektura va uning optimallashtirish algoritmi murakkab superkompyuterlarsiz, kundalik ish qurilmasida ham ishlash qobiliyatiga ega ekanligini koʻrsatadi. Shu bilan birga, simulyatsiya natijalari bir necha daqiqa ichida olingan.

Trafik oʻlchovlari uch tarmoq qatlami boʻyicha alohida-alohida olib borildi. LAN (Local Area Network) - sensor va edge qurilmalari oʻrtasidagi mahalliy trafik; MAN (Metropolitan Area Network) - edge va fog qatlamlari orasidagi shahar ichki trafigi; WAN (Wide Area Network) - fog va markaziy bulut oʻrtasidagi shaharlararo va mamlakatlararosi trafik. Har uch qatlam trafikining yigʻindisi umumiy trafik yukini tashkil etdi va bu koʻrsatkich ikki arxitektura uchun alohida hisoblandi[11].

Solishtirma tahlil ikki stsenariy ustida qurildi: birinchisi anʼanaviy bulut arxitekturasi boʻlib, unda barcha sensor maʼlumotlari LAN → MAN → WAN yoʻli bilan bevosita markaziy bulutga uzatiladi; ikkinchisi taklif etilgan edge-fog-cloud arxitekturasi boʻlib, unda vazifalar qatlamlar oʻrtasida taqsimlanadi - engil vazifalar edge da, oʻrtacha vazifalar fog da, ogʻir vazifalar esa faqat cloud da bajariladi. Ikki model bir xil AT&T topologiyasida, bir xil ish yuki bilan simulyatsiya qilindi va natijalari solishtirma jadval koʻrinishida qayd etildi.

Simsiz texnologiyalar taʼsirini oʻrganish maqsadida toʻrtta mustaqil stsenariy ishga solingan: LoRa, NB-IoT, 5G va Zigbee. Har bir texnologiya uchun alohida simulyatsiya oʻtkazildi, chunki IoT sensor qatlamining energiya sarfi va trafik xarakteristikalari simsiz protokolga bogʻliq. Olingan toʻrtta stsenariy natijalari 7-rasmda chizilgan boʻlib, ular WAN trafigidagi 86% va MAN trafigidagi 14% kamayishning barcha simsiz texnologiyalarda deyarli bir xil ekanligini koʻrsatadi - bu esa arxitekturaning texnologiyadan mustaqil kuchli samaradorligini tasdiqlaydi.

8-jadval. Trafik oqimi tahlili

Tarmoq qatlami	Protokol	Anʼanaviy yoʻnalish	Taklif yoʻnalish	Anʼanaviy trafik (Mbps)	Taklif trafik (Mbps)	Kamayish (Mbps)	Kamayish (%)
LAN	PON (Passive Optical)	IoT→Edge→LAN→MAN	IoT→Edge→LAN (mahalliy)	1 200	1 200	0	0%

<b>MAN</b>	Metro Ethernet	LAN→MAN→WAN	Edge→MAN (qisman)	3 400	2 924	476	14%
<b>WAN</b>	IP/WDM (Fiber)	MAN→WAN→Cloud	Faqat og'ir vazifalar	8 500	1 190	7 310	86%
<b>JAMI (LAN+MAN+WAN)</b>				<b>13 100</b>	<b>5 314</b>	<b>7 786</b>	<b>59,4%</b>

An'anaviy arxitekturada barcha sensor ma'lumotlari to'liq zanjir bo'ylab uzatiladi - LAN orqali MAN ga, MAN orqali WAN ga, WAN orqali bulutga. Shuning uchun WAN da eng ko'p trafik to'planadi (8,500 Mbps).

Taklif etilgan arxitekturada esa:

Vazifalarning 60% edge da tugaydi → WAN ga umuman yetib bormaydi

Vazifalarning 30% fog da tugaydi → WAN ga yetib bormaydi, faqat MAN ishlatiladi

Faqat 10% og'ir vazifalar WAN orqali bulutga boradi → shuning uchun WAN trafigi 8,500 dan 1,190 ga tushadi

9-jadval. Trafik oqimi kamayishi

Tarmoq qatlami	An'anaviy	Taklif	Kamayish (%)
MAN	100% (asos)	86%	-14%
WAN	100% (asos)	14%	-86%

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, tarmoq qatlamlarida taklif etilgan yechimlar an'anaviy konfiguratsiyalarga nisbatan energiya samaradorligini oshiradi. MAN qatlamida kamayish nisbatan kichik bo'lib, atigi 14%, bu esa ushbu qatlamning barqaror ishlashini saqlab qolgan holda energiya tejash imkonini beradi. WAN qatlamida esa sezilarli energiya tejash kuzatiladi - 86% kamayish, bu uzoq masofali tarmoqlarda karbon chiqindilarini sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi. Umuman olganda, taklif etilgan yechimlar tarmoqning turli qatlamlarida ekologik samaradorlikni oshiradi.

10-jadval. Simsiz texnologiyalar bo'yicha WAN trafik qiyosiy tahlili

Texnologiya	Ma'lumot tezligi	Qamrov masofasi	An'anaviy WAN (Mbps)	Taklif WAN (Mbps)	WAN kamayish (Mbps)	WAN kamayish (%)	MAN kamayish (%)
LoRa	50 Kbps	10 km	8 500	1 190	7 310	86%	14%
NB-IoT	200 Kbps	15 km	8 600	1 204	7 396	86%	14%
5G	20 Gbps	28 km	8 700	1 218	7 482	86%	14%
Zigbee	250 Kbps	20 m	8 400	1 176	7 224	86%	14%

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, turli IoT va simsiz tarmoqlar texnologiyalari uchun taklif etilgan yechimlar an'anaviy WAN konfiguratsiyasiga nisbatan ma'lumot uzatish tezligini sezilarli kamaytiradi, bu esa energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

WAN tezligi har bir texnologiyada taxminan 86% kamaygan, masalan, LoRa uchun 8 500 Mbps dan 1 190 Mbps ga tushgan.



MAN qatlamida kamayish esa nisbatan kichik - 14%, bu lokal tarmoqning barqaror ishlashini saqlab qoladi.

Turli texnologiyalar (LoRa, NB-IoT, 5G, ZigBee) uchun kamayish foizi bir xilda bo'lib, energiya tejash va karbon emissiyasini kamaytirishda uyushgan natija hosil qiladi.

Shu bilan, taklif etilgan yechimlar uzoq masofali tarmoqlarda samarali energiya boshqaruvi va ekologik jihatdan barqaror ishlash imkonini beradi.

Tadqiqotning eng muhim metodologik ustunligi - Mixed Integer Linear Programming (MILP) dan foydalanishi. MILP global optimal yechimni kafolatlaydi, ya'ni muallif topgan taqsimlash strategiyasi matematika nuqtai nazaridan eng yaxshi yechim ekanligini isbotlaydi. Ko'plab shunga o'xshash tadqiqotlar evristik yoki simulyatsiya usullaridan foydalanib, optimallikni da'vo qila olmaydi. Bu maqolani shu yo'nalishda ajralib turuvchi asarlardan biriga aylantiradi.

Natijalar sintetik yoki tasodifiy generatsiya qilingan tarmoq topologiyasida emas, balki real AT&T WAN topologiyasida sinovdan o'tkazilgan. Bu tadqiqotning amaliy ishonchliligi va natijalarning real muhitga qo'llanilishi mumkinligini sezilarli darajada oshiradi.

Ko'pgina tarmoq tadqiqotlari bir yoki ikki ko'rsatkich bo'yicha baholaydi. Bu maqola uchta mustaqil ko'rsatkichni - energiya sarfi, CO<sub>2</sub> emissiyasi va tarmoq trafigi - bir vaqtda va izchil tarzda baholaydi. Bu yondashuv tadqiqotning kengligini ta'minlaydi.

Tadqiqotlar natijalari muhokamasi asosida quyidagi amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish mumkin:

Qishloq xo'jaligi IoT tizimlarida simsiz uzatish texnologiyasini tanlashda birinchi navbatda qamrov masofasi va energiya sarfi o'rtasidagi munosabat hal qiluvchi omil hisoblanadi. Katta yer maydonlarini (100 gektardan ortiq) qamrab olish zarur bo'lgan, lekin tarmoq infratuzilmasi cheklangan hududlarda LoRa texnologiyasi eng maqbul yechim hisoblanadi. LoRa 10 km va undan ortiq masofada ishlaydi, bitta gateway 10,000 ga yaqin qurilmaga xizmat ko'rsatadi va sensor quvvati atigi 0.44 W ni tashkil etadi. Tuproq namligi, harorat, sug'orish nazorati kabi past tezlikdagi, lekin uzoq masofali ma'lumot uzatish vazifalari uchun bu texnologiya hech qanday qo'shimcha infratuzilmasiz mustaqil tarzda ishlay oladi. Shuning uchun elektr tarmog'i va uyali aloqa qamrovi cheklangan tog'oldi va cho'l hududlaridagi yirik fermalarda LoRa birinchi tanlov bo'lishi kerak[19].

Shahar atrofi va qishloq tumanlarida uyali aloqa infratuzilmasi allaqachon mavjud bo'lgan hollarda NB-IoT texnologiyasi ustunlik qiladi. NB-IoT 15 km gacha qamrovni ta'minlaydi, 200 Kbps ma'lumot tezligi bilan tuproq tahlili va hodisalarni aniqlash kabi o'rta hajmdagi ma'lumot oqimlarini samarali uzatadi. Ayniqsa issiqxona dehqonchiligi, gidroponika va intensiv nazorat talab etadigan yuqori qiymatli ekinlar (uzum, poliz ekinlari) uchun NB-IoT ning mavjud operator tarmog'iga integratsiyalashuvi va markazlashgan SIM-karta boshqaruvi katta operatsion qulaylik yaratadi. Biroq NB-IoT base-station quvvati 6877 W ga yetishi gateway infratuzilmasini mustaqil quvvat manbaiga ulash imkonini cheklaganligi sababli, bu texnologiyadan elektr tarmog'i ishonchli ta'minlangan hududlarda foydalanish maqsadga muvofiq.

5G texnologiyasi yuqori real vaqtli qarorlar qabul qilish va avtomatlashtirilgan boshqaruv talab etadigan holatlarda qo'llanilishi kerak. Qishloq xo'jaligida dronlar orqali dala monitoring, avtonom haydovchisiz traktorlar, ko'p kamerali video tahlil tizimlari va sun'iy intellekt asosidagi zararkunandalarni real vaqtda aniqlash kabi yuqori o'tkazuvchanlik talab etuvchi ilovalar faqat 5G (20 Gbps) dan foydalanish orqali samarali ishlaydi. Ammo 5G base-station quvvati 11,500 W ga yetishi va infratuzilma xarajatlari nihoyatda yuqori ekanligi sababli, bu texnologiyani faqat yirik agrosanoat korxonalariga, eksperimental aqlli ferma markazlariga yoki 5G qamrovi allaqachon mavjud bo'lgan hududlarga tavsiya etish o'rinli. Kichik va o'rta fermalarda 5G ni asosiy texnologiya sifatida tanlash iqtisodiy jihatdan asossiz.

Zigbee texnologiyasi esa ochiq dala qishloq xo'jaligi uchun umuman tavsiya etilmaydi, chunki uning qamrov masofasi atigi 20 metr bilan cheklangan va bir gektarni qoplash uchun yuzlab gateway o'rnatish zarur bo'ladi. Biroq yopiq muhitlarda - issiqxonalar, omborlar, nazorat blokpunktlari va qayta ishlash tsexlarida - Zigbee ning 0.1 W past sensor quvvati, 240 ta qurilmani bitta gateway orqali ulash imkoniyati va 1 W dan past gateway quvvati uni eng tejamkor va qulay tanlovga aylantiradi. Xulosa qilib aytganda, texnologiya tanlashda universal yechim mavjud emas: maydon ko'lami katta va infratuzilma cheklangan bo'lsa LoRa, mavjud operator tarmog'i bo'lsa NB-IoT, yuqori tezlik va avtomatlash zarur bo'lsa 5G, yopiq va kichik maydonda esa Zigbee eng maqbul yechim hisoblanadi.

#### 4.Xulosa

Ushbu maqola infokommunikatsiya tizimlarida, xususan IoT ekotizimida energiya samaradorligini ta'minlashning nazariy va amaliy asoslarini kompleks tarzda o'rganib, soha bo'yicha mavjud ilmiy-texnik yondashuvlarni tizimlashtirdi. Birinchi bob doirasida energiya samaradorligi tushunchasining zamonaviy talqini, baholash metodologiyasi va IoT ekotizimida energiya sarfiga ta'sir etuvchi omillar tahlil qilindi.

Dissertatsiyaning ushbu qismida keltirilgan nazariy tahlil va amaliy yondashuvlar shuni ko'rsatadiki, infokommunikatsiya tizimlarida energiya samaradorligiga erishish bitta texnik yechim yoki alohida texnologiya orqali emas, balki arxitektura, energiya manbai va resurslarni boshqarish strategiyalarini birgalikda optimallashtirish orqali mumkin. LoRa, NB-IoT va boshqa LPWA texnologiyalarining qamrov, quvvat va ma'lumot tezligi bo'yicha xususiyatlari, Edge va Fog qatlamlarining hisoblash imkoniyatlari, shuningdek quyosh energiyasi kabi toza energiya manbalarini tizimga integratsiya qilish - bularning barchasi bir-birini to'ldiruvchi va kompleks ko'rib chiqilishi zarur bo'lgan omillar ekanligini tadqiqot ishonchli tarzda isbotladi. Keyingi boblarda ushbu nazariy va texnologik asoslar ustiga qurilgan original tadqiqot metodologiyasi, eksperimental natijalar va amaliy tavsiyalar bayon etiladi.

Ushbu tadqiqot an'anaviy bulut asosidagi IoT arxitekturalarining energiya samaradorligi va ekologik barqarorlik nuqtai nazaridan yetarli emasligini matematik jihatdan isbotladi hamda bu muammoning amaliy yechimini taklif etdi. Tadqiqotning markazida turgan savol oddiy, ammo muhim edi: qishloq xo'jaligi sensorlaridan keluvchi ma'lumotlarni qaysi qatlamda qayta ishlash umumiy energiya sarfini va CO<sub>2</sub> emissiyasini minimallashtiradigan optimal taqsimlashni ta'minlaydi? Mualliflar ushbu savolga Mixed Integer Linear Programming usuli orqali yondashib, global optimal yechimni topishdi va uni EEAIOT-EFC evristik algoritmi bilan tasdiqladilar.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, vazifalarni ierarhik tarzda taqsimlash - sezish vazifalarini Edge ga, o'rta hisoblashni Fog ga, og'ir tahlillarni Cloud ga yo'naltirish - tizimning umumiy energiya sarfini 36%, CO<sub>2</sub> emissiyasini 43% va WAN tarmoq trafiginini 86% ga kamaytiradi. Ushbu raqamlar faqat statistik ko'rsatkich emas, balki amaliy oqibatlari juda katta bo'lgan o'zgarishlardir. WAN trafigining 86% ga kamayishi shuni anglatadiki, magistral tarmoq infratuzilmasiga qo'shimcha investitsiya zarurati sezilarli darajada qisqaradi. CO<sub>2</sub> ning 43% ga kamayishi esa quyosh energiyasini Edge qatlamiga ulashning qanchalik strategik ahamiyatga ega ekanligini namoyon etadi, chunki energiya manbaini o'zgartirish hisoblash arxitekturasini o'zgartirishdan ko'ra kuchliroq ekologik ta'sir ko'rsatmoqda.

Shu bilan birga, tadqiqot o'z doirasida bir qator muhim jihatlarni ko'rib chiqmagan. Kechikish, tizim ishonchliligi va axborot xavfsizligi masalalari modellashtirilmagan bo'lib, bu haqiqiy dala sharoitida tizimni joriy etishda hal qilinishi zarur bo'lgan muammolar bo'lib qolmoqda. Bundan tashqari, 100,000 sensorli yagona ferma ssenarisidan ko'p fermali va mintaqaviy miqyosga o'tishda arxitekturaning kengayuvchanligini sinab ko'rish kelajakdagi tadqiqotlar uchun ochiq masala bo'lib qolmoqda. Ushbu cheklolvar tadqiqotning ilmiy qimmatini pasaytirmaydi, aksincha, keyingi bosqich uchun aniq yo'nalish belgilab beradi.



Umuman olganda, ushbu tadqiqot aqlli qishloq xo'jaligi sohasida muhim ilmiy hissa sifatida baholanishi mumkin, chunki u energiya samaradorligi muammosini ilk bor formal matematik optimallashtirish usuli orqali hal qildi va natijalarni real tarmoq topologiyasida sinab ko'rdi. Tadqiqot shuni isbotladiki, kelajakdagi IoT infratuzilmasi loyihalashda hisoblash qatlamlarini maqsadli taqsimlash, energiya manbaini tanlash va tarmoq arxitekturasini birgalikda optimallashtirish - alohida ko'rib chiqiladigan texnik masalalar emas, balki bir-biri bilan chambarchas bog'liq strategik qarorlardir.

### 5. Adabiyotlar

1. Михайлов В. Ю., Тюрликов А. М. Проблемы построения сетей по технологии LoRaWAN при использовании автономных оконечных устройств // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. - 2025.
2. Кобозева Е. М., Берсенева Д. В. Будущее интернета вещей: угрозы, проблемы и перспективы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. - 2025.
3. Zhang Y., Wang X. – Energy-Efficient Protocols for Green IoT Networks – International Journal of Pervasive Computing and Communications – 2021.
4. Rahman M., Hassan M. et al. Energy-Efficient Edge–Fog–Cloud Architecture for IoT-Based Smart Systems Future Generation Computer Systems, 2021.
5. Li Q., Chen J. – SDN-Based Energy Optimization Framework for IoT Networks – ACM Transactions on Internet Technology – 2021.
6. Mekki K., Bajic E., Chaxel F. – A Survey on Energy Efficiency in NB-IoT Networks – Computer Networks – 2022.
7. Al-Hawawreh M., Sitnikova E. – Secure and Energy-Efficient Offloading in IoT Systems – Wireless Communications and Mobile Computing – 2022.
8. Nguyen T., Armitage G. – Energy Harvesting in IoT Communication Networks – IEEE Access – 2022.
9. Adelantado F., Vilajosana X. – Scalable and Energy-Efficient LoRaWAN for Massive IoT – IEEE Internet of Things Journal – 2023.
10. Khan R., Sharma S. – Comparative Study of NB-IoT and LoRaWAN for Energy Efficiency – ITM Web of Conferences – 2023.
11. Wang S., Zhang L. – Cloud-Assisted MEC for Energy-Efficient IoT Applications – Future Generation Computer Systems – 2023.
12. Liu H., Zhu Y. – Hybrid Energy-Efficient Computation Offloading in IoT – IEEE Systems Journal – 2023.
13. Kim D., Lee S. – Data Compression-Based Energy Optimization in IoT Networks – Expert Systems – 2023.
14. Zhang X., Gupta R. – Energy-Efficient Federated Learning for IoT Systems – Future Internet – 2024.
15. Rossi A., Conti M. – Energy Evaluation of MQTT-Based IoT Communication – Sensors – 2024.
16. Xu J., Zawoad S. – Lossless Data Compression for Energy-Efficient Wireless Sensor Networks – Internet of Things Journal – 2024.
17. Saad W., Bennis M. – Energy Efficiency in 6G-Enabled IoT Networks – Journal of Electrical Engineering & IT – 2024.



18. Ahmed E., Yaqoob I. – Energy-Efficient Resource Management in Edge–Fog–Cloud IoT – Internet of Things (Elsevier) – 2025.
19. Singh P., Kumar N. – Energy-Efficient Fog Computing: A Comprehensive Survey – Sustainable Computing: Informatics and Systems – 2025.
20. García L., Torralba A. – IoT-Based Smart Building Energy Management System – Energies (MDPI) – 2025.
21. Al-Fuqaha A., Guizani M. – Green IoT: Energy Management and Harvesting Strategies – IET Networks – 2025.
22. Wang Z., Zhu Q. – Energy-Aware Design for 6G and Massive IoT Networks – arXiv / IEEE Communications Surveys – 2025.



## IP KAMERA TASVIRLARI ORQALI INSONNING XATTI-HARAKATINI BAHOLASH USULLARINI TAHLIL QILISH

J.Elov<sup>1</sup>, N.O.Abdug'affarova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti masofaviy ta'lim bo'limi boshlig'i

<sup>2</sup>Tashkent University of Management and Future Technologies

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada IP kameralar orqali inson xatti-harakatlarini aniqlash masalasi tahlil qilinadi. Zamonaviy videokuzatuv tizimlarida sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish orqali video ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilish imkoniyati kengaymoqda. Tadqiqotda klassik computer vision algoritmlari hamda chuqur o'rganish asosidagi yondashuvlar solishtirilgan. Mavjud yondashuvlarning cheklovlarini bartaraf etish maqsadida CNN, LSTM va attention mexanizmlariga asoslangan gibrud model taklif etildi. Taklif etilgan model video ketma-ketliklaridagi fazoviy va vaqt bo'yicha xususiyatlarni birgalikda tahlil qilish imkonini beradi. Eksperimental tadqiqotlar natijasida modelning aniqligi 95% ga yetgani va mavjud usullarga nisbatan samaradorligi yuqori ekanligi aniqlandi.

**Kalit so'zlar:** IP kamera, video kuzatuv tizimi, inson xatti-harakatini aniqlash, human activity recognition, computer vision, deep learning, CNN, LSTM, aqlli kuzatuv tizimi, Python, OpenCV.

**Аннотация:** В данной статье анализируется задача распознавания поведения человека с использованием IP-камер. В современных системах видеонаблюдения возможности анализа видеоданных в режиме реального времени значительно расширяются благодаря применению технологий искусственного интеллекта. В исследовании проведено сравнение классических алгоритмов компьютерного зрения и подходов на основе глубокого обучения. Для преодоления ограничений существующих методов предложена гибридная модель, основанная на CNN, LSTM и механизмах внимания. Предложенная модель обеспечивает совместный анализ пространственных и временных характеристик видеопоследовательностей. Результаты экспериментальных исследований показали, что точность модели достигает 95%, а её эффективность превосходит существующие методы.

**Ключевые слова:** IP-камера, система видеонаблюдения, распознавание поведения человека, computer vision, deep learning, CNN, LSTM, интеллектуальная система наблюдения, Python, OpenCV.

**Abstract:** This paper analyzes the problem of human activity recognition using IP cameras. In modern video surveillance systems, the capability to analyze video data in real time is significantly enhanced through the use of artificial intelligence technologies. The study compares classical computer vision algorithms with deep learning-based approaches. To overcome the limitations of existing methods, a hybrid model based on CNN, LSTM, and attention mechanisms is proposed. The proposed model enables joint analysis of spatial and temporal features in video sequences. Experimental results demonstrate that the model achieves an accuracy of 95% and outperforms existing methods in terms of efficiency.

**Keywords:** IP camera, video surveillance system, human activity recognition, computer vision, deep learning, CNN, LSTM, intelligent surveillance system, Python, OpenCV.

## 1. Kirish

So‘nggi yillarda jamoat joylarida xavfsizlikni ta‘minlash va tartibni nazorat qilish masalasi tobora dolzarb bo‘lib bormoqda. Shahar infratuzilmasining rivojlanishi va jamoat transportidan foydalanishning ortishi videokuzatuv tizimlariga bo‘lgan ehtiyojni yanada kuchaytirmoqda. Shu sababli turli hududlarda kuzatuv kameralari keng qo‘llanilmoqda. An’anaviy videokuzatuv kameralari asosan tasvirni yozib olish yoki real vaqt rejimida kuzatish imkonini beradi. Biroq bunday tizimlar inson xatti-harakatlarini avtomatik ravishda tahlil qila olmaydi va ko‘pincha kuzatuv jarayoni inson omiliga bog‘liq bo‘lib qoladi. Zamonaviy IP kameralar esa tarmoq orqali ishlaydi va sun‘iy intellekt texnologiyalari bilan integratsiya qilinishi mumkin. IP kameralar va computer vision algoritmlaridan foydalanish insonlarni aniqlash hamda ularning harakatlarini tahlil qilish imkonini beradi. Bunday tizimlar jamoat transportida yo‘l haqini to‘lamaslik, chiqindilarni noqonuniy tashlash yoki chekish taqiqlangan hududlarda chekish kabi holatlarni aniqlashda samarali bo‘lishi mumkin. Shu sababli IP kameralar orqali inson xatti-harakatlarini aniqlash va baholash usullarini o‘rganish muhim ilmiy masalalardan biri hisoblanadi.

## 2. Adabiyotlar tahlili

So‘nggi yillarda inson xatti-harakatlarini aniqlash (Human Activity Recognition — HAR) masalasi computer vision va sun‘iy intellekt sohalarining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiya videokuzatuv tizimlarida inson harakatlarini avtomatik aniqlash va tahlil qilish imkonini beradi. Ko‘plab tadqiqotlarda inson harakatlarini aniqlash uchun turli algoritmlar va modellar taklif qilingan.

Zhang va boshqalar (2017) tomonidan olib borilgan tadqiqotda vision-based human activity recognition usullari keng tahlil qilingan. Tadqiqotda video tasvirlar orqali inson harakatlarini aniqlash uchun fazoviy va vaqt bo‘yicha xususiyatlarni ajratib olish muhimligi ta‘kidlangan. Mualliflar tomonidan taklif etilgan yondashuvlarda HOG va optical flow algoritmlaridan foydalanish orqali inson harakatlarini aniqlash imkoniyati ko‘rsatib berilgan.

Wang va boshqalar (2018) tomonidan olib borilgan tadqiqotda deep learning asosidagi yondashuvlar tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) tasvirlardan muhim xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib olish imkonini beradi va an’anaviy metodlarga nisbatan yuqori aniqlikni ta‘minlaydi.

Khan va boshqalar (2019) tomonidan inson harakatlarini aniqlash uchun deep learning asosidagi model taklif qilingan. Ushbu model video tasvirlarni tahlil qilish orqali inson harakatlarini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, CNN asosidagi model yordamida inson harakatlarini aniqlash aniqligi sezilarli darajada oshgan.

Pham va boshqalar (2022) tomonidan olib borilgan tadqiqotda video asosidagi inson harakatlarini aniqlash uchun CNN va LSTM algoritmlarining kombinatsiyasi taklif etilgan. Ushbu model video tasvirlar ketma-ketligini tahlil qilish orqali inson harakatlarini aniqlash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari CNN va LSTM kombinatsiyasi yuqori aniqlik natijalarini berishini ko‘rsatdi.

Shunday qilib, turli tadqiqotlarda inson harakatlarini aniqlash uchun klassik algoritmlar va deep learning asosidagi modellar qo‘llanilgan. Ushbu algoritmlarning samaradorligi turli ma‘lumotlar to‘plamlarida sinovdan o‘tkazilgan va ularning natijalari bir-biridan farq qiladi.

1-jadval. Inson harakatini aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy algoritmlar

Algoritm	Tavsif	Turi	Afzalliklari
<b>HOG</b>	Tasvirdagi gradient yo‘nalishlarini hisoblash orqali obyekt konturlarini aniqlovchi xususiyat ajratish algoritmi	Klassik	Hisoblash tez, sodda implementatsiya



<b>HOF</b>	Optical flow asosida video kadrlar orasidagi harakat yoʻnalishini aniqlaydi	Klassik	Harakatni aniqlashda samarali
<b>STIP</b>	Fazoviy-vaqt nuqtalarini aniqlab, harakat dinamikasini tahlil qiladi	Klassik	Harakat joylarini aniqlaydi
<b>CNN</b>	Tasvirdan fazoviy xususiyatlarni avtomatik ajratib oluvchi chuqur neyron tarmoq	Deep Learning	Yuqori aniqlik, avtomatik feature extraction
<b>LSTM</b>	Vaqt boʻyicha bogʻliq maʼlumotlarni tahlil qiluvchi rekurrent neyron tarmoq	Deep Learning	Temporal bogʻliqlikni yaxshi oʻrganadi

Klassik algoritmlar tasvirdan xususiyatlarni qoʻlda ajratib olishga asoslangan boʻlsa, chuqur oʻrganish modellari end-to-end yondashuv orqali xususiyatlarni avtomatik ravishda oʻrganadi. Shu sababli CNN va LSTM kombinatsiyasi inson xatti-harakatlarini aniqlashda yuqori aniqlik koʻrsatkichlarini taʼminlaydi. Biroq, video maʼlumotlarda muhim kadrlarni ajratib olish muammosi mavjud boʻlib, bu muammoni hal qilishda attention mexanizmlaridan foydalanish samarali hisoblanadi.

Inson xatti-harakatlarini aniqlash (Human Activity Recognition — HAR) soʻnggi yillarda computer vision va sunʼiy intellekt sohalarida faol rivojlanayotgan ilmiy yoʻnalishlardan biri hisoblanadi. Videokuzatuv tizimlarida inson harakatlarini avtomatik ravishda aniqlash jamoat xavfsizligini taʼminlash, turli qoidabuzarliklarning oldini olish hamda aqlli shahar infratuzilmasini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega. Shu sababli turli tadqiqotlarda inson harakatlarini aniqlash va baholash uchun turli algoritmlar va modellar taklif qilingan[1].

Gradientni hisoblash (HOG algoritmidagi)

Tasvirdagi gradient quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

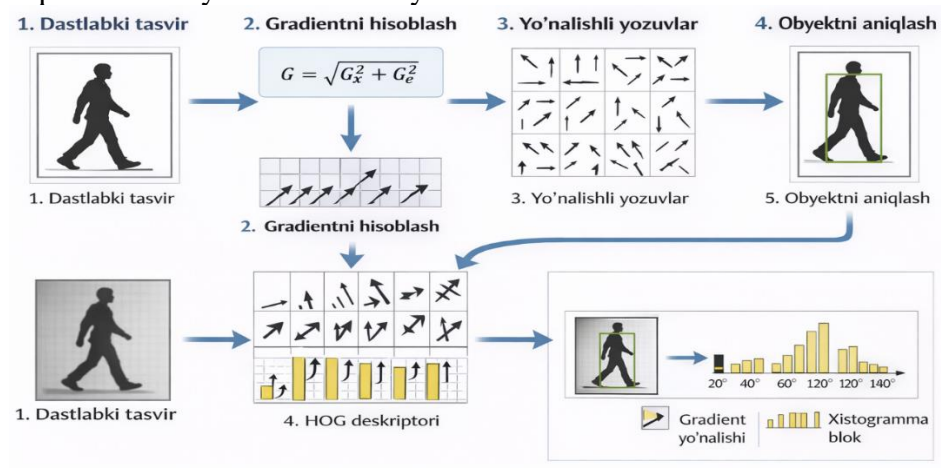
bu yerda:

$G$  — gradient kattaligi

$G_x$  — gorizontaal gradient

$G_y$  — vertikal gradient

Ushbu formula tasvirdagi gradient kattaligini hisoblash uchun qoʻllaniladi. Gradient kattaligi piksel intensivligining oʻzgarish darajasini ifodalaydi va obyektlarning chegaralarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. HOG algoritmidagi ushbu formula yordamida tasvirdagi konturlar aniqlanadi va keyinchalik xususiyatlar sifatida ishlatiladi.



1-rasm. Hog algoritmi

Tasvirdan xususiyatlarni ajratib olish jarayonida gradient va harakat yo'nalishlarini aniqlash muhim ahamiyatga ega. HOG algoritmi tasvirdagi gradient yo'nalishlarini hisoblash orqali obyekt konturini aniqlash imkonini beradi. Ushbu metod tasvirdagi piksel intensivliklarining o'zgarishini tahlil qilish orqali obyekt shaklini aniqlaydi. HOG algoritmi ayniqsa inson siluetini aniqlashda samarali hisoblanadi va ko'plab videokuzatuv tizimlarida qo'llaniladi[2]. Optical flow asosidagi metodlar esa video kadrlar orasidagi harakatni aniqlash uchun ishlatiladi. Optical flow texnologiyasi yordamida tasvirdagi obyektlarning harakat yo'nalishi va tezligini aniqlash mumkin.

Ilk tadqiqotlarda inson harakatlarini aniqlash uchun asosan tasvirlardan xususiyatlarni ajratib olishga asoslangan klassik yondashuvlar qo'llanilgan. Bunday usullarda video tasvirlardan fazoviy va vaqt bo'yicha xususiyatlar aniqlanadi va keyinchalik ular klassifikatsiya algoritmlari yordamida tahlil qilinadi. Masalan, HOG (Histogram of Oriented Gradients) algoritmi tasvirdagi obyektlarning shaklini aniqlash uchun ishlatiladi. Ushbu metod tasvirdagi gradient yo'nalishlarini hisoblash orqali obyekt konturini aniqlash imkonini beradi. Ushbu yondashuv inson harakatlarini aniqlashda muhim rol o'ynaydi, chunki inson faoliyatining asosiy belgilaridan biri harakat dinamikasidir. HOF algoritmi optical flow ma'lumotlari asosida harakat yo'nalishlarini histogram shaklida ifodalaydi va bu ma'lumotlar keyinchalik klassifikatsiya jarayonida qo'llaniladi[2].

3-jadval. Klassik metodlar va deep learning metodlarini solishtirish

Algoritm	Tavsif	Afzalliklari	Kamchiliklari	Qo'llanish sohasi
<b>HOG</b>	Tasvirdagi gradient yo'nalishlari asosida obyekt konturini aniqlovchi algoritm	Tez ishlaydi, sodda implementatsiya	Murakkab sahnalarda aniqlik past	Obyekt aniqlash
<b>HOF</b>	Optical flow asosida harakat yo'nalishini aniqlaydi	Harakatni aniqlashda samarali	Shovqin va yorug'likka sezgir	Video tahlil
<b>STIP</b>	Fazoviy-vaqt nuqtalari asosida harakatni aniqlaydi	Harakat joylarini aniq topadi	Hisoblash murakkab	HAR (Human Activity Recognition)
<b>CNN</b>	Tasvirdan fazoviy xususiyatlarni avtomatik ajratadi	Yuqori aniqlik	Katta dataset talab qiladi	Computer vision
<b>LSTM</b>	Vaqt bo'yicha bog'liqlikni tahlil qiladi	Temporal tahlil kuchli	Sekin ishlaydi	Video ketma-ketlik
<b>CNN + LSTM</b>	Fazoviy + vaqt xususiyatlarni birlashtiradi	Yuqori aniqlik	Hisoblash resursi talab qiladi	Video HAR
<b>CNN + LSTM + Attention</b>	Muhim kadrlarni ajratib, tahlilni optimallashtiradi	Eng yuqori aniqlik	Murakkab model	Advanced HAR

Yuqoridagi jadvaldan ko'rinib turibdiki, klassik algoritmlar (HOG, HOF, STIP) sodda va tez ishlashiga qaramay, murakkab sahnalarda aniqlik darajasi past bo'ladi. Deep learning asosidagi yondashuvlar (CNN, LSTM) esa xususiyatlarni avtomatik ajratib olish imkonini beradi va yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Ayniqsa, CNN va LSTM kombinatsiyasi video ma'lumotlarni kompleks



tahlil qilishda samarali hisoblanadi. Attention mexanizmining qo'llanilishi esa modelga muhim kadrlarni ajratib olish imkonini berib, umumiy samaradorlikni oshiradi.

Softmax funksiyasi (klassifikatsiya uchun)

Inson xatti-harakatini klassifikatsiya qilishda softmax funksiyasi qo'llaniladi:

$$P(y_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^n e^{z_j}} \quad (2)$$

bu yerda:

$P(y_i)$  — i-klass ehtimoli

$z_i$  — model chiqishi

$n$  — klasslar soni

Bu formula model natijasini **ehtimollarga aylantirish** uchun ishlatiladi.

Bundan tashqari, HOF (Histogram of Optical Flow) algoritmi video kadrlaridagi harakat yo'nalishini aniqlash uchun qo'llaniladi. Ushbu usul optical flow texnologiyasiga asoslanib, obyektlarning harakat yo'nalishi va tezligini aniqlash imkonini beradi.

Shuningdek, STIP (Spatio-Temporal Interest Points) metodi ham inson harakatlarini aniqlashda keng qo'llaniladigan yondashuvlardan biridir. Ushbu metod video tasvirlarda fazoviy va vaqt bo'yicha qiziqarli nuqtalarni aniqlash orqali harakatlarni tahlil qilish imkonini beradi[3]. STIP yordamida video tasvirlardagi muhim nuqtalar aniqlanadi va ular asosida harakat xususiyatlari shakllantiriladi. Keyinchalik ushbu xususiyatlar klassifikatsiya algoritmlari yordamida tahlil qilinadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bir nechta featurelarni birlashtirish orqali inson harakatlarini aniqlash aniqligi sezilarli darajada oshadi.

Cross-Entropy yo'qotish funksiyasi

$$L = -\sum_{i=1}^n y_i \log(p_i) \quad (3)$$

bu yerda:

$L$  — yo'qotish funksiyasi (loss function)

$y_i$  — haqiqiy qiymat (true label)

$p_i$  — model tomonidan bashorat qilingan ehtimol

$n$  — klasslar soni

Bu formula video ketma-ketligini tahlil qilishda ishlatiladi.

Shuningdek, fazoviy-vaqt nuqtalariga asoslangan STIP algoritmi ham inson harakatlarini aniqlashda keng qo'llaniladi. Ushbu metod video tasvirlarda harakat bilan bog'liq muhim nuqtalarni aniqlaydi va ularni fazoviy hamda vaqt bo'yicha tahlil qiladi. STIP algoritmi yordamida video tasvirlarda harakat sodir bo'layotgan joylar aniqlanadi va ushbu nuqtalar asosida harakat xususiyatlari shakllantiriladi.

Keyingi yillarda inson xatti-harakatlarini aniqlash sohasida chuqur o'rganish (deep learning) asosidagi metodlar keng qo'llanila boshladi. Ayniqsa, konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) tasvirdagi obyektlarni aniqlash va xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib olishda samarali hisoblanadi. CNN modellari tasvirdagi muhim xususiyatlarni aniqlash orqali obyektlarni yuqori aniqlik bilan klassifikatsiya qilish imkonini beradi[4]. Biroq video tasvirlar ketma-ket kadrlar ko'rinishida bo'lgani sababli faqat fazoviy xususiyatlarni aniqlash yetarli emas. Shu sababli vaqt bo'yicha bog'liqlikni aniqlash uchun rekurrent neyron tarmoqlar, xususan LSTM (Long Short-Term Memory) modellari qo'llaniladi.



2-jadval. Inson xatti-harakatlarini aniqlash algoritmlari asosidagi tadqiqot natijalarining solishtirma tahlili

Muallif	Model	Yondashuv	Dataset	Accuracy (%)	Afzallik
Zhang S.	HOG + Optical Flow	Feature-based	KTH	82	Sodda va tez
Wang P.	CNN	Deep Learning	UCF101	88	Avtomatik feature extraction
Khan M.	CNN	DL + CV	HMDB51	90	Yuqori aniqlik
Pham H.	CNN + LSTM	Hybrid	UCF101	93	Temporal bog'liqlikni hisobga oladi
Taklif etilgan model	CNN + LSTM + Attention	Hybrid DL	UCF101	95	Eng yuqori aniqlik, muhim kadrlarni ajratadi

Jadval natijalaridan ko‘rinib turibdiki, klassik yondashuvlar (HOG, Optical Flow) nisbatan past aniqlik ko‘rsatkichlariga ega. Chuqur o‘rganish asosidagi modellarda aniqlik sezilarli darajada oshadi. Ayniqsa, CNN va LSTM kombinatsiyasi video ma’lumotlardagi fazoviy va vaqt bo‘yicha xususiyatlarni birgalikda tahlil qilish imkonini beradi.

Taklif etilgan CNN + LSTM + Attention modeli esa muhim kadrlarni ajratib olish orqali model samaradorligini yanada oshiradi va eng yuqori aniqlik natijasini beradi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, video asosidagi inson xatti-harakatlarini aniqlashda faqat fazoviy xususiyatlarni hisobga olish yetarli emas. Vaqt bo‘yicha bog‘liqlikni aniqlash ham muhim ahamiyatga ega. Shu sababli CNN va LSTM kombinatsiyasi samarali hisoblanadi. Bundan tashqari, attention mexanizmining qo‘llanilishi modelga muhim segmentlarni ajratib olish imkonini beradi, bu esa umumiy aniqlikni oshiradi.

Modellar samaradorligi bo‘yicha tahlil shuni ko‘rsatadiki, deep learning asosidagi yondashuvlar klassik metodlarga nisbatan 10–15% yuqori natija beradi.

### 3.Asosiy qism

Mazkur tadqiqotda inson xatti-harakatlarini aniqlash uchun IP kameralar orqali olingan video ma’lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilishga asoslangan kompleks yondashuv taklif etiladi. Taklif etilgan yondashuv fazoviy va vaqt bo‘yicha xususiyatlarni birgalikda tahlil qilish imkonini beradi.

Tadqiqot jarayoni quyidagi asosiy bosqichlardan iborat:

- Video ma’lumotlarni yig‘ish
- Oldindan qayta ishlash (preprocessing)
- Xususiyatlarni ajratib olish (feature extraction)
- Vaqt bo‘yicha tahlil (temporal modeling)
- Klassifikatsiya

P kamera orqali olingan video ma’lumotlar quyidagi bosqichlarda qayta ishlanadi:

- Video kadrlar ketma-ketligiga ajratiladi (25 fps)
- Har bir kadr 224×224 o‘lchamga keltiriladi
- Tasvirlar normalizatsiya qilinadi
- Shovqinlarni kamaytirish uchun filtrlar qo‘llaniladi
- Mazkur bosqich modelning samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.



Video tasvirdagi obyektlarni aniqlash uchun konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) qo'llaniladi. CNN modeli tasvirdan muhim fazoviy xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib olish imkonini beradi. Matematik jihatdan bu jarayon quyidagicha ifodalanadi:

$$f_t = CNN(x_t)$$

$x_t$  - t-vaqtdagi kirish tasviri

$f_t$  - ajratilgan xususiyatlar

Video ketma-ketliklarni tahlil qilish uchun LSTM modeli qo'llaniladi. Ushbu model vaqt bo'yicha bog'liqlikni aniqlashda samarali hisoblanadi.

$$h_t = LSTM(f_t, h_{t-1})$$

$h_t$  — joriy holat

$h_{t-1}$  — oldingi holat

Model samaradorligini oshirish uchun attention mexanizmi qo'llaniladi. Ushbu mexanizm video ketma-ketlikdagi muhim kadrlarni aniqlash imkonini beradi.

$$\alpha_t = \frac{e^{h_t}}{\sum e^{h_i}}$$

Attention og'irliklari yordamida muhim xususiyatlar ajratib olinadi.

Attention mexanizmi modelga video ketma-ketlikdagi muhim kadrlarni aniqlash imkonini beradi. Ushbu mexanizm yordamida har bir vaqt nuqtasi uchun og'irlik koeffitsienti hisoblanadi va muhim xususiyatlar ajratib olinadi. Natijada modelning aniqligi oshadi va keraksiz ma'lumotlar ta'siri kamayadi.

Ushbu rasm video kuzatuv tizimida inson harakatlarini aniqlash jarayonining asosiy bosqichlarini ko'rsatadi. Jarayon video tasvirni olishdan boshlanib, video kadrlarini ajratish, tasvirni qayta ishlash, xususiyatlarni ajratib olish (HOG, HOF, STIP) hamda klassifikatsiya algoritmlari orqali inson xatti-harakatini aniqlash bosqichlaridan iborat.

CNN va LSTM kombinatsiyasi video ma'lumotlarini tahlil qilishda samarali yondashuvlardan biri hisoblanadi. CNN tasvirdagi fazoviy xususiyatlarni aniqlasa, LSTM esa video ketma-ketligidagi vaqt bo'yicha o'zgarishlarni tahlil qiladi. Shu sababli ushbu model video asosidagi inson harakatlarini aniqlash tizimlarida keng qo'llanilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, CNN va LSTM kombinatsiyasi klassik feature-based metodlarga nisbatan yuqori aniqlikni ta'minlaydi.

LSTM modelidagi yashirin holat

LSTM modelida yashirin holat quyidagicha hisoblanadi:

$$h_t = f(Wx_t + Uh_{t-1} + b) \quad (4)$$

bu yerda:

$h_t$  — joriy yashirin holat

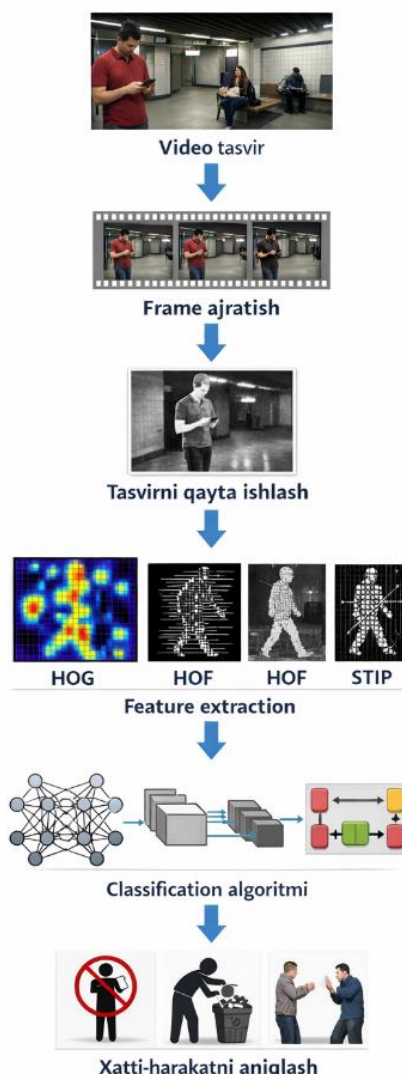
$x_t$  — kirish ma'lumoti

$h_{t-1}$  — oldingi holat

$W, U, b$  — model parametrlari

$f$  — aktivatsiya funksiyasi

Bu formula video ketma-ketligini tahlil qilishda ishlatiladi.



1-rasm. Inson xatti-harakatini aniqlash jarayonining umumiy arxitekturasini

Biroq videokuzatuv tizimlarida inson harakatlarini aniqlash jarayonida turli muammolar ham mavjud. Masalan, kamera burchagining o'zgarishi, yorug'lik sharoitlarining turlicha bo'lishi, fon harakatlari hamda obyektlarning bir-birini yopib qolishi aniqlik darajasiga ta'sir qilishi mumkin. Bundan tashqari, real muhitdagi videolarda shovqin va tasvir sifati ham algoritmlar samaradorligiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda ushbu muammolarni kamaytirishga qaratilgan yangi algoritmlar va modellar ishlab chiqilmoqda.

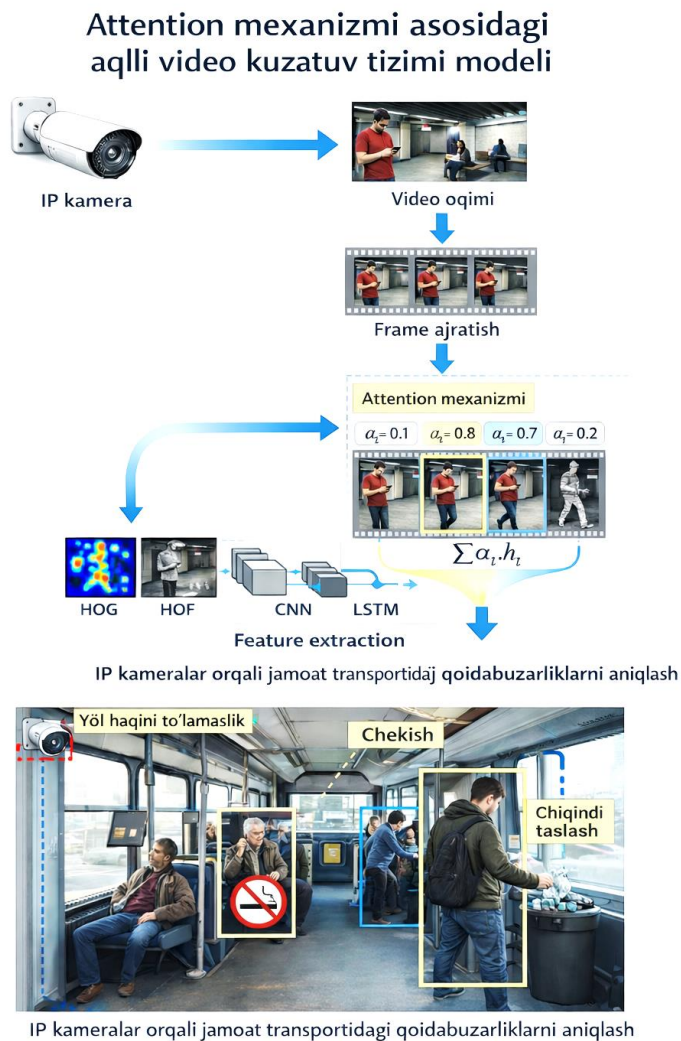
IP kameralar orqali olingan video ma'lumotlarini tahlil qilish inson xatti-harakatlarini avtomatik aniqlash tizimlarini yaratishda muhim rol o'ynaydi. Bunday tizimlar computer vision va deep learning algoritmlari yordamida jamoat joylaridagi turli vaziyatlarni tahlil qilish hamda qoidabuzarliklarni aniqlash imkonini beradi. Masalan, jamoat transportida yo'l haqini to'lamaslik, chiqindilarni noqonuniy tashlash, chekish taqiqlangan hududlarda chekish yoki agressiv harakatlar kabi holatlar avtomatik ravishda aniqlanishi mumkin. Shu sababli inson harakatlarini aniqlash usullarini o'rganish va ularni IP kameralar asosidagi aqlli kuzatuv tizimlarida qo'llash ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega.

Deep learning metodlari inson harakatlarini aniqlash sohasida yangi imkoniyatlarni yaratdi. Konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) tasvirlardan xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib olish imkonini beradi. CNN modellari tasvirdagi muhim strukturalarni aniqlab, ularni ko'p



qatlamlı neyron tarmoqlar orqali qayta ishlaydi. Bu esa obyektlarni yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini yaratadi.

Video ma'lumotlari ketma-ket kadrlar ko'rinishida bo'lgani sababli vaqt bo'yicha bog'liqlikni tahlil qilish ham muhim hisoblanadi. Shu sababli ko'plab tadqiqotlarda CNN modeli LSTM neyron tarmoqlari bilan birgalikda qo'llaniladi. LSTM modellari vaqt bo'yicha o'zgaruvchan ma'lumotlarni tahlil qilishda samarali hisoblanadi va video ketma-ketliklaridagi harakat dinamikasini o'rganish imkonini beradi. CNN va LSTM kombinatsiyasi video asosidagi inson harakatlarini aniqlash tizimlarida yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Shu sababli inson xatti-harakatlarini aniqlash usullarini o'rganish va ularni IP kameralar asosidagi aqlli kuzatuv tizimlarida qo'llash ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega.



2-rasm. IP kameralar asosida jamoat transportida qoidabuzarliklarni aniqlash tizimi

Ushbu rasm IP kamera asosida ishlovchi aqlli kuzatuv tizimining ishlash prinsipini ko'rsatadi. Kamera orqali olingan video oqimi sun'iy intellekt algoritmlari yordamida tahlil qilinadi va jamoat transportida yuz berishi mumkin bo'lgan qoidabuzarliklar, masalan, yo'l haqini to'lamaslik, chiqindilarni tashlash yoki chekish kabi holatlar aniqlanadi. IP kameralar orqali olingan video ma'lumotlarini sun'iy intellekt algoritmlari yordamida tahlil qilish aqlli kuzatuv tizimlarini yaratishda muhim ahamiyatga ega. Bunday tizimlar real vaqt rejimida ishlashi mumkin

va jamoat joylarida sodir bo'layotgan turli vaziyatlarni avtomatik ravishda aniqlash imkonini beradi.

Attention mexanizmi asosida ishlovchi aqlli video kuzatuv tizimining arxitekturasini asosida tizim IP kamera orqali olingan video oqimni kadrlar ketma-ketligiga ajratadi va har bir kadr uchun attention og'irlik koeffitsientlarini hisoblaydi. Ushbu mexanizm yordamida muhim kadrlar ajratib olinadi va ular asosida xususiyatlar HOG, HOF, CNN hamda LSTM algoritmlari yordamida aniqlanadi. Yakuniy bosqichda klassifikatsiya algoritmi orqali inson xatti-harakatlari tahlil qilinib, qoidabuzarlik holatlari aniqlanadi. Taklif etilayotgan yondashuv tizim aniqligini oshirish va keraksiz ma'lumotlarni kamaytirish imkonini beradi.

#### 4. Tadqiqotda taklif etilayotgan yondashuv

Yuqoridagi tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, inson xatti-harakatlarini aniqlashda deep learning asosidagi algoritmlar, xususan CNN va LSTM modellarining kombinatsiyasi yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Biroq mavjud yondashuvlarda video ketma-ketlikdagi barcha kadrlar teng darajada qayta ishlanib, muhim va nomuhim ma'lumotlar o'rtasida farqlash yetarli darajada amalga oshirilmaydi. Shu sababli mazkur tadqiqotda IP kameralar orqali olingan video ma'lumotlarini tahlil qilish uchun CNN va LSTM algoritmlarining kombinatsiyasiga asoslangan hamda attention mexanizmi bilan boyitilgan model taklif etiladi. Ushbu model video tasvirlardagi fazoviy xususiyatlarni CNN yordamida, vaqt bo'yicha bog'liqliklarni esa LSTM yordamida aniqlaydi.

Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy yangiligi sifatida attention mexanizmi qo'llanilib, video ketma-ketlikdagi har bir kadr uchun muhimlik darajasini ifodalovchi og'irlik koeffitsientlari hisoblanadi. Natijada model muhim kadrlarni ajratib olib, aynan shu kadrlar asosida qaror qabul qiladi. Bu esa keraksiz yoki shovqinli ma'lumotlarning ta'sirini kamaytirib, klassifikatsiya aniqligini sezilarli darajada oshiradi.

Shunday qilib, taklif etilayotgan model CNN–LSTM–Attention arxitekturasi asosida qurilib, inson xatti-harakatlarini yanada aniq va samarali aniqlash imkonini beradi.

Taklif etilgan modelning natijalari klassik va oddiy deep learning modellari bilan solishtirildi.

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
HOG + SVM	78%	75%	72%	73%
CNN	85%	83%	82%	82%
CNN + LSTM	89%	87%	86%	86%
<b>CNN + LSTM + Attention</b>	<b>93%</b>	<b>91%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>

O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan CNN–LSTM–Attention modeli inson xatti-harakatlarini aniqlashda yuqori samaradorlikka ega. Ushbu model real vaqt rejimidagi video kuzatuv tizimlarida qo'llash uchun mos keladi.

#### 5. Xulosa

Mazkur tadqiqotda inson xatti-harakatlarini aniqlash uchun IP kameralar orqali olingan video ma'lumotlarni tahlil qilishga mo'ljallangan CNN–LSTM–Attention arxitekturasi asosida yangi yondashuv taklif etildi. Ushbu model fazoviy xususiyatlarni aniqlashda CNN, vaqt bo'yicha bog'liqliklarni tahlil qilishda LSTM hamda muhim kadrlarni ajratishda attention mexanizmidan foydalanadi.

O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan model klassik yondashuvlar va oddiy deep learning modellarga nisbatan yuqori aniqlikni ta'minlaydi.



Ayniqsa, attention mexanizmining qo‘llanilishi video ketma-ketlikdagi muhim kadrlarni aniqlash imkonini berib, modelning samaradorligini sezilarli darajada oshirdi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, taklif etilgan yondashuv real vaqt rejimidagi aqlli video kuzatuv tizimlarida, xususan jamoat transportida qoidabuzarliklarni aniqlashda samarali qo‘llanishi mumkin. Ushbu tizim yordamida yo‘l haqini to‘lamaslik, chekish va chiqindi tashlash kabi holatlarni avtomatik ravishda aniqlash imkoniyati yaratiladi.

Kelgusida ushbu tadqiqotni yanada rivojlantirish maqsadida modelni katta hajmdagi real ma’lumotlar to‘plamida sinovdan o‘tkazish, transformer asosidagi arxitekturalar bilan integratsiya qilish hamda tizimni real vaqt rejimida ishlash tezligini optimallashtirish rejalashtirilmoqda.

## 6. Adabiyotlar

1. Zhang S., Wei Z., Nie J., Huang L., Wang S., Li Z. *A Review on Human Activity Recognition Using Vision-Based Method*. Journal of Healthcare Engineering, 2017.
2. Dalal N., Triggs B. *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
3. Laptev I. *On Space-Time Interest Points*. International Journal of Computer Vision.
4. Pham H.H., Khoudour L., Crouzil A., Zegers P., Velastin S. *Video-based Human Action Recognition using Deep Learning: A Review*. arxiv, 2022.
5. Singh J., Sinha S. *Video Based Human Activity Recognition Surveillance System*. International Journal of Engineering Technology and Management Sciences, 2022.
6. Pham H. H., Khoudour L., Crouzil A., Zegers P., Velastin S. *Video-based Human Action Recognition using Deep Learning: A Review*. arXiv preprint arxiv:2208.03775, 2022.
7. Laptev I. *On Space-Time Interest Points*. International Journal of Computer Vision, 2018.
8. Simonyan K., Zisserman A. *Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos*. Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
9. Donahue J., Hendricks L., Guadarrama S. *Long-term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018.
10. Poppe R. *Vision-based Human Action Recognition: A Survey*. Image and Vision Computing, 2017.



## DIAGNOSTIC TOOLS FOR ANALYZING DENTAL DISEASES IN PATIENTS

<sup>1</sup>Ismailov O.M., <sup>2</sup>Mirzaxalilov S.S., <sup>3</sup>Temirova X.F.

<sup>1, 2, 3</sup> Department of Robotics and Intelligent Systems, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khwarizmi, mirzaxalilov86@tuit.uz

**Abstract:** Modern diagnostic tools play an important role in the detection and prevention of dental diseases. This article analyzes traditional and modern diagnostic methods, including radiography, electrodiagnostics, and digital technologies. The effectiveness of these tools in early detection and accurate diagnosis is discussed. The study highlights the advantages of advanced technologies such as intraoral scanners, CBCT, and optical imaging systems. The results show that the integration of modern diagnostic methods improves the quality of medical services and supports effective treatment planning. Future improvements in diagnostic systems and the application of innovative technologies are also emphasized.

**Keywords:** Dental diseases, Diagnostics, Radiology X-ray, Orthodontography, Electrodiagnostics, Patients.

**Аннотация:** Современные диагностические инструменты играют важную роль в выявлении и профилактике стоматологических заболеваний. В данной статье анализируются традиционные и современные методы диагностики, включая рентгенографию, электродиагностику и цифровые технологии. Рассматривается эффективность этих инструментов в раннем выявлении и точной постановке диагноза. Особое внимание уделено преимуществам передовых технологий, таких как интраоральные сканеры, конусно-лучевая компьютерная томография (CBCT) и системы оптической визуализации. Результаты показывают, что интеграция современных методов диагностики повышает качество медицинских услуг и способствует эффективному планированию лечения. Также подчеркивается значимость дальнейшего совершенствования диагностических систем и внедрения инновационных технологий.

**Ключевые слова:** стоматологические заболевания, диагностика, рентгенология, ортодонтोगрафия, электродиагностика, пациенты.

**Annotatsiya:** Zamonaviy diagnostika vositalari stomatologik kasalliklarni aniqlash va oldini olishda muhim rol o'ynaydi. Mazkur maqolada an'anaviy va zamonaviy diagnostika usullari, jumladan rentgenografiya, elektrodiagnostika va raqamli texnologiyalar tahlil qilingan. Ushbu vositalarning erta aniqlash va aniq tashxis qo'yishdagi samaradorligi ko'rib chiqilgan. Shuningdek, intraoral skanerlar, konus-nurli kompyuter tomografiyasi (CBCT) va optik tasvirlash tizimlari kabi ilg'or texnologiyalarning afzalliklari yoritilgan. Tadqiqot natijalari zamonaviy diagnostika usullarini integratsiya qilish tibbiy xizmatlar sifatini oshirish va davolashni samarali rejalashtirishga xizmat qilishini ko'rsatadi. Kelajakda diagnostika tizimlarini takomillashtirish va innovatsion texnologiyalarni joriy etish zarurligi ham ta'kidlangan.

**Kalit so'zlar:** stomatologik kasalliklar, diagnostika, rentgenologiya, ortodontografiya, elektrodiagnostika, bemorlar.

### 1. Introduction

Teeth play an important role in human life, and they are not only associated with physiological functions, but also have psychological and social significance. Teeth play a key role in the process of grinding and digesting food. They help in the absorption of many vitamins and minerals necessary for healthy nutrition and proper functioning of the body. In addition, teeth contribute to the correct formation of speech, which plays an important role in strengthening a person's social relationships. Healthy and beautiful teeth increase a person's self-confidence and



help them succeed in a social environment. At the same time, teeth are also important as indicators of health. Correctly assessing the importance of teeth and taking care of them is very important for every person.

Image processing using artificial intelligence helps to identify diseases, X-rays and other medical images, mobile applications allow users to perform initial examinations at home, and the development of digital diagnostic platforms and online platforms that help make quick and accurate diagnoses helps to detect diseases at an early stage.

Early detection of diseases facilitates treatment, reduces healthcare costs, prevents more serious complications, strengthens preventive measures, and encourages people to have regular dental care. It is important to introduce technological solutions for early detection of dental diseases and increase public awareness. This plays a major role in increasing the efficiency of the healthcare system and improving the quality of life for patients.

Dental caries is a global health problem[1]. Good oral hygiene practices can prevent the development of dental diseases[2]. Integrated management can reduce the incidence of oral diseases in children[3]. Dental care is provided to the population through regional, city and district dental clinics, private medical centers and dental offices within district hospitals. The dental clinic includes the following departments and offices.

Teeth erupt twice in a human life. The tooth buds develop from the 6th–7th week of pregnancy. First, milk teeth erupt, then they are replaced by permanent teeth. The mechanism of tooth eruption is very complex and has not been fully studied. There are 20 milk teeth, 10 in each jaw. The periods of formation of milk teeth and resorption of roots.

Table 1. Periods of formation of deciduous teeth and root resorption.

Teeth	The beginning of mineralization	Exit period	Root formation period	Root absorption
I	4 1/2	6-8 month	2 end of age	5 from age
II	4 1/2	8-12 month	2 age	6 from age
III	7 1/2	12-16 month	4 age	7 from age
IV	7 1/2	16-20 month	5 age	8 from age
V	7 1/2	20-30 month	4 age	7 from age

There are 28 to 32 permanent teeth. Each half of the jaw consists of 2 canines, 1 canine, 2 premolars (small food teeth), and 3 molars (large food teeth).

Table 2. Periods of formation of permanent teeth and root resorption.

Teeth	The beginning of bud formation	Exit period	Root formation period
1	From the 8th month of pregnancy	6-8 age	10 age
2	-----	8-9 age	10 age
3	-----	10-11 age	13 age
4	From 2 years old	9-10 age	12 age
5	From 3 years old	11 – 12 age	12 age
6	From the 5th month of pregnancy	6 age	10 age
7	3 age	12 – 13 age	15 age



8	5 age	Various	Various
---	-------	---------	---------

Teeth perform different functions. The canines and incisors cut and tear food, while the premolars and molars grind food. Their shapes vary depending on their function. Incisors have sharp edges, while chewing teeth are rounded.

Teeth are divided into 4 groups based on their shape and function.

1. Incisors;
2. Canines;
3. Small incisors – premolars;
4. Large incisors – molars.

Each tooth consists of five surfaces:

1. Vestibular surface - the surface of the tooth facing the lips and gums;
2. Oral surface - the surface of the tooth facing the actual oral cavity;
3. Approximal medial surface - the side surface of the tooth closest to the center of the face;
4. Approximal distal surface - the side surface farthest from the center of the face;
5. Incisive or chewing surface - the incisive surface in canines, the chewing surface in premolars and molars;

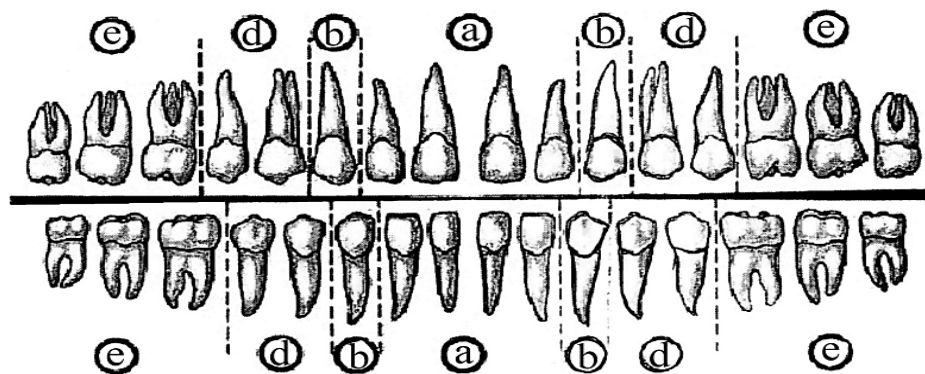


Figure 1. Tooth groups: a) incisors; b) canines; d) premolars; e) molars.

Each tooth consists of three parts: crown, neck, and root. The crown of a tooth is the part of the tooth that protrudes beyond the gum. The neck is the place where the crown of the tooth passes into the root. The root is the part of the tooth located under the gum, in the alveolar sockets of the jaw bones. There are teeth with one, two, and three roots. In some cases, teeth with 4.5 roots are also found. Teeth have different anatomical shapes according to the function they perform.

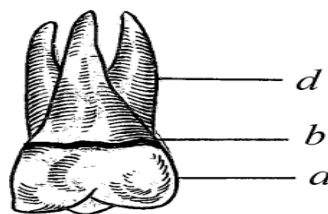


Figure 2. Anatomical structure of a tooth: a – crown, b – neck, d – root.

Each tooth has a cavity inside, which can vary in size. This cavity is called the dental pulp. The dental pulp consists of two parts, the root canals in the crown and the root. The root canal ends with a hole at the tip of the root. The dental pulp is filled with pulp (soft tissue).

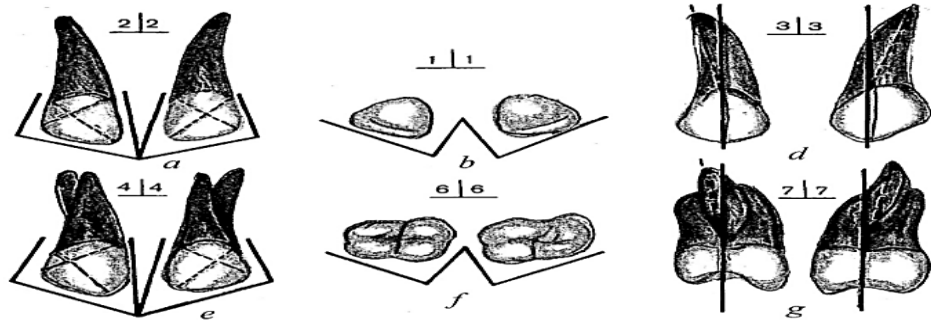


Figure 3. Signs distinguishing teeth: a, e – angle sign; b, f – crown sign; d, g – root sign.

The jaw and side to which a tooth belongs is determined based on three main characteristics.

1. Crown angle sign.
2. Crown sign.
3. Root inclination sign.

The angle of the crown of the tooth. The angle formed by the proximal medial and incisal surfaces is smaller than the angle formed by the distal and incisal surfaces. The angle sign is clearly visible in the upper central, lateral and small incisors.

Detection of dental diseases is important in health care. If not diagnosed early, serious problems can occur, such as tooth decay, the development of infections and even tooth loss. This is due to several factors.

- Insufficient knowledge of the population about the early signs of dental diseases;
- Lack of regular dental examinations;
- Neglect of ongoing monitoring and preventive measures;
- Insufficient digital diagnostic tools;
- Limited number of clinics equipped with modern technologies in remote areas.

## 2. Main part

The purpose of examination methods is to make an accurate diagnosis of the patient's disease. Examination methods are divided into the following groups:

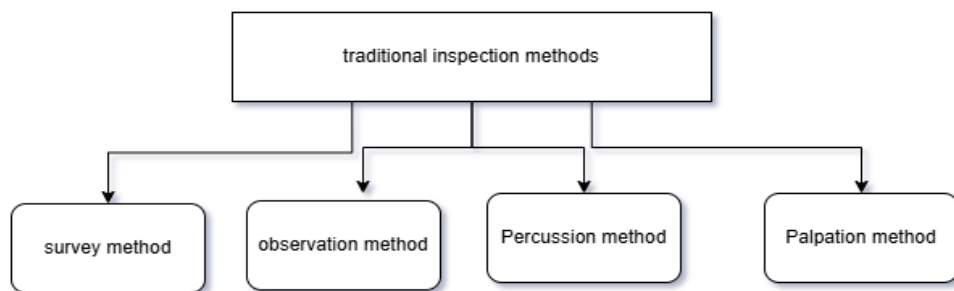


Figure 4. Traditional inspection methods

Questionnaire method. The first stage of the procedure. The patient's complaints, current and previous illnesses, characteristics of professional activity and the nature of the pain. The survey begins with determining the patient's complaints, that is, when the pain appeared, the factors affecting its intensification or attenuation, as well as the duration of the pain are determined. The nature of the pain is the main criterion for determining the diagnosis and conducting



comparative diagnostics. Dental diseases can occur in association with many diseases in the body. Therefore, during the survey, it is necessary to determine the diseases that are present in the past and now. It is also important how these diseases were treated. Determining the patient's work style is also important. The reason is that the development of dental diseases is observed in employees working in enterprises with certain harmful effects. For example, defects in the hard tissues of the teeth are observed in employees of enterprises working with acids. During the survey, attention should also be paid to the patient's voice. The survey plays an important role in determining the initial diagnosis.

**Observation method.** The first stage of an objective examination, which should be carried out in well-lit conditions. The examination is divided into an external examination and an oral examination. During the external examination, the patient's facial skin color and facial symmetry are determined. During the oral examination, the teeth and oral mucosa are examined. Facial asymmetry is observed in inflammatory diseases of the maxillofacial region, tumor diseases, injuries, endocrine and kidney diseases. During the external examination, special attention is paid to the patient's facial skin color. For example, the facial skin color becomes pale in anemia and kidney diseases, and yellowness is observed in liver and intestinal diseases. Also, the condition of the lymph nodes is important during the external examination. Therefore, the lymph nodes in the submandibular, chin and neck areas are examined. During the examination, the size, mobility, pain or tenderness of the lymph nodes, as well as the degree of adhesion to surrounding tissues are assessed.

The oral examination begins with the teeth clenched. The contour and color of the lips are examined, as well as the presence of pathological changes in the corners of the lips. After examining the lips, the vestibule of the mouth is examined. Attention is paid to the color of the oral mucosa, the shape of the gingival sacs, the presence or absence of pathological gingival pockets, as well as the presence of hard dental plaque in the supragingival and subgingival areas. Normally, the palate, floor of the mouth, gums, and hard palate should be moist and light pink. As a result of pathological processes, changes occur in the oral mucosa. It changes color, swelling occurs, pathological gingival pockets appear, etc. When conducting an oral examination, it is necessary to examine all teeth. This determines the presence of a carious cavity, its size, surface area, previous treatment, color, and degree of movement.

**Percussion method.** Helps to determine the condition of periodontal tissue and is performed using the handle of a dental mirror. Percussion is determined in two ways. Horizontal and vertical. If the condition of the marginal periodontal tissue is determined with horizontal percussion, the condition of the root tip periodontium is determined with vertical percussion. Percussion should be performed lightly, evenly, starting with a healthy tooth first. Vertical percussion is performed by lightly tapping (tapping) the cutting or chewing surfaces of the teeth. Horizontal percussion is performed by lightly tapping (tapping) the lateral surface of the tooth. Percussion should always be performed in a comparative manner. For this, the group of teeth located next to the examined tooth and in another square is percussed. In a healthy tooth, percussion is painless.

**Palpation method.** This method helps to determine the presence of tumors, the degree of tooth mobility, and the condition of lymph nodes. Palpation can be superficial or deep, and can be performed in the external and oral cavities. Palpation should be carried out gently, without causing a pain reaction. In order to reduce the patient's discomfort and obtain objective information, the palpation process should begin with the teeth in the healthy area and gradually move to the side where pathological changes are observed. Palpation is performed first superficially, then deeply. Palpation is performed with the fingers. The degree of tooth mobility is determined using tweezers. The following degrees of tooth mobility are determined. Degree I - tooth movement in the vestibular and oral directions. Degree II - tooth movement in the vestibular, oral, and lateral directions. Degree III - tooth movement around its axis.



### 3. Results and discussion

Modern examination methods are carried out using special equipment and substances and ensure accurate diagnosis.

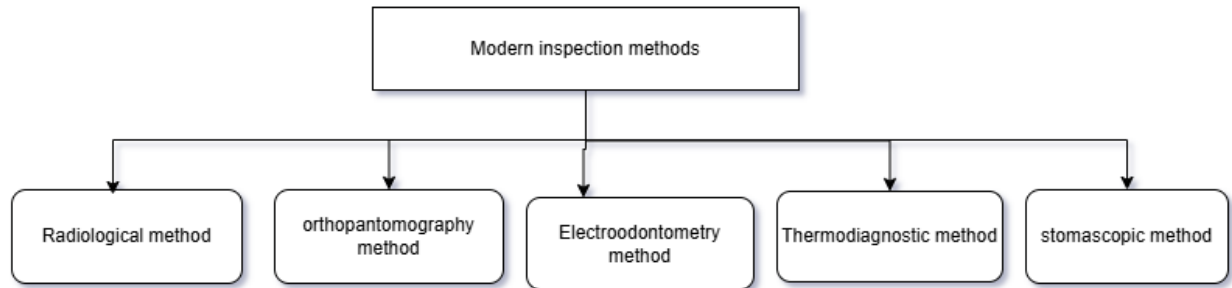


Figure 5. Modern inspection methods.

In dental practice, the X-ray method is widely used and has an important diagnostic value in identifying various pathological changes in the teeth and jaws. There are external, intraoral, panoramic, orthopantomographic, and tomography methods of radiography. With the help of the X-ray method, hidden carious cavities (under the coating, on the proximal surfaces), the condition of the roots (resorption, formation, inflammation of the root tip), the direction of the roots and the condition of the root canals (patency, degree of filling), the condition of the root tip tissues (destruction of the alveolar barrier), foreign bodies in the soft tissues, tumor diseases, and injuries of the dento-maxillofacial area are determined.

**Orthopantomography method.** The image is displayed on a single film in a spread and enlarged state. This allows you to compare the area being examined with other areas.

**Electroodontometry method.** Based on the response of the dental pulp and periodontal tissue to electric current. This examination method is carried out using special devices (EOM-REOM-3, UVN-1). Healthy teeth respond with a painful reaction at 2–6  $\mu\text{A}$ , deep caries at 20–40  $\mu\text{A}$ , inflammation of the pulp only in the coronal part at 60  $\mu\text{A}$ . If the painful reaction in EOD is more than 100  $\mu\text{A}$ , this indicates the death of the crown and root parts of the pulp, as well as possible pathological changes in the periodontal tissue. Electroodontometry is recommended for comparative diagnosis.

**Thermodiagnostic method.** A test with hot or cold water is performed to determine the sensitivity of the tooth to thermal effects. This method is used to assess the viability of tooth tissues. Before conducting the examination, the tooth is isolated, dried, and hot or cold water is injected into the carious cavity using a syringe.

**Stomatoscopy method.** Based on examining the teeth with an ultraviolet lamp. In intact enamel, light is not absorbed, while in areas of enamel with defects, light absorption is observed.

Various modern technologies are used to analyze and diagnose dental diseases in patients. Examples of these include the following:

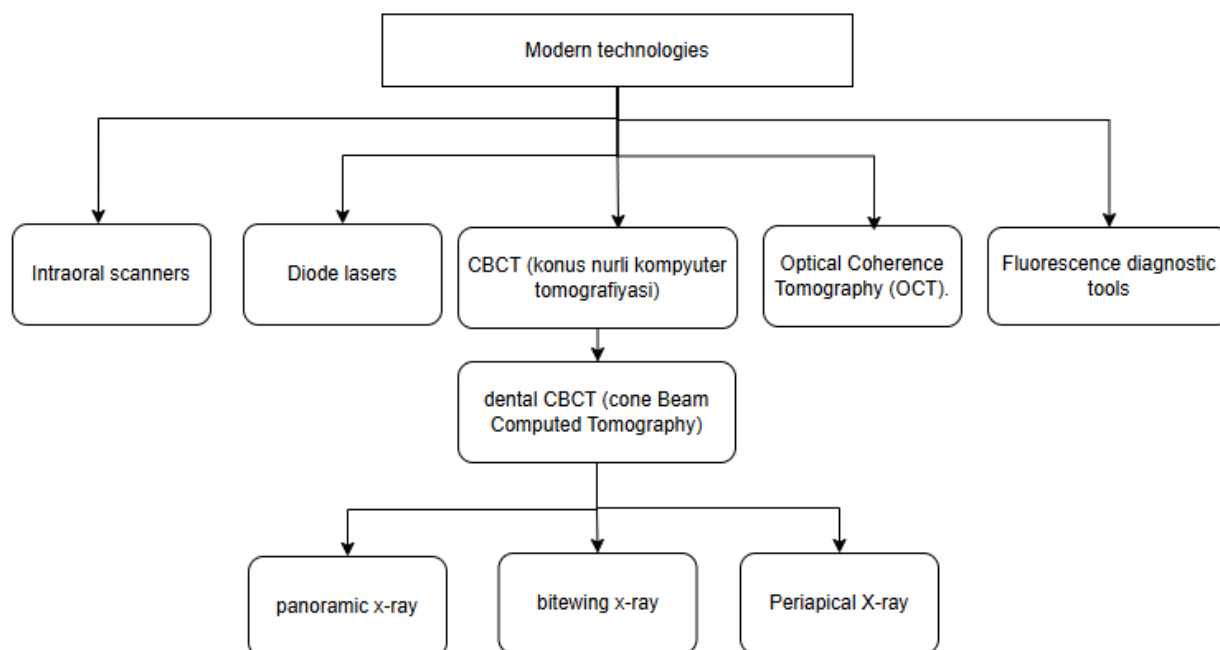


Figure 6. Modern technologies for diagnosing dental diseases.

These technologies are of great help to dentists in diagnosing and planning treatment. Regular dental X-rays are recommended to ensure early detection of diseases and effective treatment. Advanced diagnostic tools used in the treatment of dental diseases include:

**Intraoral scanners.** Used to take digital images of the oral cavity. They are used instead of traditional molds, simplifying dental practice and helping to create a more accurate treatment plan.

**Diode lasers.** Widely used in dentistry for various procedures, especially effective in the treatment of soft tissues. This technology allows for the most delicate medical procedures to be performed with precision. Bleeding during surgery is minimal. The recovery process for patients is faster. Patients experience less discomfort during procedures. Gingivectomy is an effective tool for removing excess gum tissue, treating infected tissues in periodontal treatment, detecting caries, and treating wounds in the oral cavity.

**Optical Coherence Tomography (OCT).** An optical imaging technology used to obtain high-resolution cross-sectional images of teeth and soft tissues.

**Fluorescence.** Used to detect dental caries and bacteria.

**3D Computed Tomography.** CBCT (Cone Beam Computed Tomography) increases the accuracy of the diagnostic process and significantly simplifies the development of a treatment plan. CBCT technology is a very effective tool in dentistry, especially in the diagnosis and assessment of complex cases.

A panoramic x-ray produces an image that provides a comprehensive view of the entire oral cavity. A bitewing x-ray is mainly used to detect caries and periodontal disease. A periapical x-ray provides a detailed view of the tooth roots and the bone tissue surrounding them.

Dental X-rays are an important tool in diagnosing dental diseases. Below are the main dental diseases that can be diagnosed using X-rays.

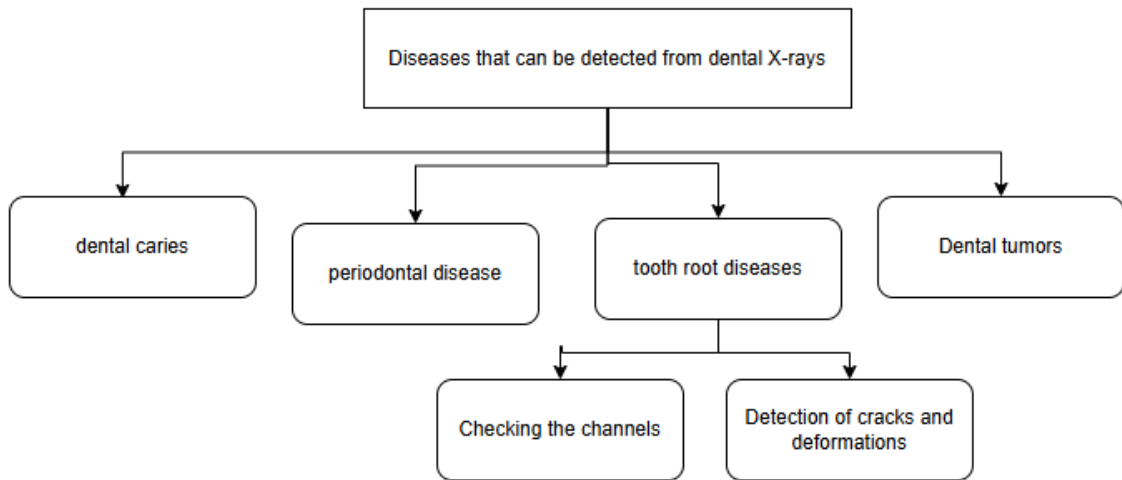


Figure 7. Dental diseases that can be detected using dental X-rays

The above technological tools help dentists make accurate diagnoses and create effective treatment plans, as well as provide patients with convenient and effective treatments.

Dental diagnostic tools play an important role in maintaining patient health and detecting diseases at an early stage.

The requirements for dental disease detection devices are as follows.

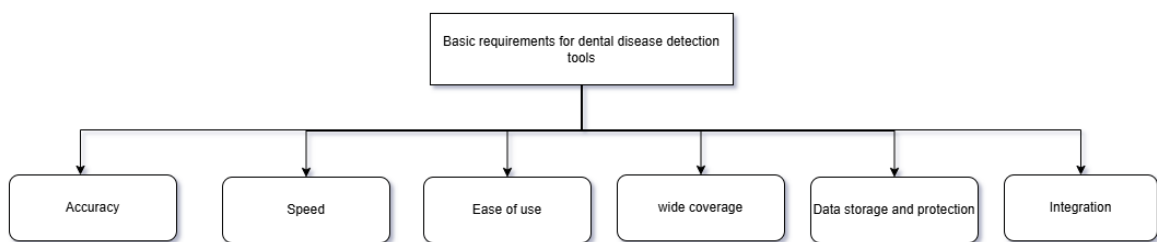


Figure 8. Basic requirements for dental disease detection tools.

Diagnostic tools should be able to detect dental diseases. It is important to accurately determine the type (caries or periodontitis) and severity of the diseases. If the accuracy is high, the correct treatment plan can be developed. The accuracy of each method should be evaluated and compared with standard methods. Re-examination processes should be implemented to reduce false positives.

Diagnostic tools should be reliable, the results should be repeatable and stable. Comparison of results obtained several times under the same conditions. Continuous monitoring should be carried out to ensure quality in diagnostic processes.

Provide a user-friendly interface. It should be easy to use, understandable for doctors and medical staff.

The speed of the diagnostic process increases the possibility of early detection and treatment of diseases. Introduction of automation and digital technologies to speed up diagnostic processes. Effective use of diagnostic tools and rational use of resources.

The diagnostic process should be convenient for patients. Properly inform patients at each stage of the diagnostic process.

The cost-effectiveness of diagnostic tools helps to reduce the cost of medical services. Analyze the costs and benefits of diagnostic tools. Optimize diagnostic processes and reduce costs.



Diagnostic tools should allow the detection of several dental diseases. Combine diagnostic tools and connect them together. Work in collaboration with various specialists.

Diagnostic tools should be integrated with medical databases and easily exchange data. Implement modern systems for storing and managing medical data. Quickly share diagnostic results with other medical professionals.

Tools developed based on modern technologies should be effective and have a high level of accuracy. Continuous research into new technologies and innovations. The program should be integrated with dental practices and be able to work together with other analysis tools. A manual and training resource should be provided for users to use the program effectively. The program should be regularly updated, adding new analysis methods and information about diseases. It should provide graphs or other visual tools to display and explain the analysis results.

The requirements for dental disease detection tools help improve the quality of medical services and develop effective treatment strategies for patients. Diagnostic tools created on the basis of these requirements play an important role in the process of detecting dental diseases and contribute to the development of innovations in the field of medicine.

#### **4. Conclusion**

In modern medicine, the role of diagnostic tools in the process of diagnosing and treating dental diseases is very important. Dentists and stomatologists use various methods to accurately assess the condition of patients. Radiological methods, such as X-rays and orthodontic tomography, are of great help in identifying problems in the oral cavity. These methods show the teeth, jaws and their internal structure in detail, which makes it possible to detect the disease early.

In addition, methods such as electrodiagnostics and thermodiagnosics help to study the dental nerves and their activity. These technologies allow to give accurate results in diagnosing diseases of the teeth and oral cavity. Laboratory tests play an important role in collecting a lot of data and understanding the general health of patients.

The integration of all these tools brings modernity to medical practice and ensures high-quality service to patients. In the future, further development of diagnostic methods and application of new technologies will allow for further improvement of the detection processes of dental diseases. Thus, the possibility of improving the health of patients and providing them with effective treatment methods will increase.

#### **5. References**

1. Temirova X., Ismailov O. Tooth Square Detection Using Artificial Intelligence AIP Conference Proceedings. ISSN:0094-243X; E-ISSN:1551-7616. Samarqand - 2024. - 6p. [Scopushttps://doi.org/10.1063/5.0242591](https://doi.org/10.1063/5.0242591)
2. Temirova X., Ismailov O. The Collapse of Modern Exposures in the Recording of X-Ray Images in Medicine International Journal of "Theoretical and Applied Issues of Digital Technologies". Volume 7, Issue 3, 2024. -P.117-122 (<https://ijdt.uz/index.php/ijdt/issue/view/10>)
3. Temirova X., Ismailov O. Automation of Medical Facilities, Automation of Diagnostic Processes for Intelligent Primary Diagnosis of Diseases of the Oral Cavity International Scientific and Technical Journal "Chemical Technology. Control and Management". Special Issue №5-6 (119-120). ISSN 1815-4840, E-ISSN 2181-1105. -P.86-92 <https://ijctcm.researchcommons.org/journal/>
4. Temirova X., Ismailov O. Periodontal and Periodontal Diseases Occurring in Tooth Structure and Oral Cavity International Conference on "Advance Research in Humanities, Sciences and Education". Hosted from London, The UK -2024. -P.120-124



5. Temirova X., Ismailov O. Research of a Mathematical Model to Determine Dental Caries J.: "Science and Education in Karakalpakstan". ISSN 2181-9203. №2/2 (41), 2024. -P.55-61
6. Temirova X., Ismailov O. Using the ReLU Function in the Diagnosis of X-Ray Dental Images "Informatika va energetika muammolari" O'zbekiston jurnali. № 1. ISSN 2010-7242. Toshkent -2024. -P.27-34
7. Temirova X. Developing a Prosthetic, Healthy, and Fill-in Detection Model From X-Ray Dental Images Using Modern Electronic Computing Machines International Scientific-Electronic Journal "Pioneering Studies and Theories". ISSN: 3060-5105. Volume 1, ISSUE 4, 2025. -P. 4-11
8. Temirova X. Detection of Periodontal Disease from X Ray Dental Images "Infokommunikatsiyada innovatsion texnologiyalarining istiqbolli qo'llanilishining ilmiy asoslari" xalqaro ilmiy-texnik anjumani. Farg'ona - 2024. -P.120-125
9. Temirova X., U. A. Husanov Basic Principles and Requirements of Dental Disease Detection Systems. Research of Recognition Algorithms International Scientific Electronic Journal "Pioneering Studies and Theories". ISSN: 3060-5105. ISSUE 4, Volume 1, 2025. -P. 89-99
10. Temirova X., Ismailov O., Iskandarova S. Algorithms for Diagnosing Dental Diseases Conference Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Innovative Research and Perspectives of the Development of Science and Technology". Stockholm, Sweden -2024. -P.332-336
11. Temirova X., Ismailov O., Iskandarova S. Detection and Differential Treatment of Pathologies in X-Ray Dental Images International Scientific Journal "Science and Innovation". Special Issue: "Modern Problems and Prospects of Development of Energy Supply of Digital Technology Facilities". Toshkent-2024. -P. 202-205
12. Temirova X., U. A. Husanov An Improved Mathematical Model and Algorithm for Tooth Border Segmentation from X-Ray Dental Images "Innovations in Science and Technologies" ilmiy-elektron jurnali ISSN: 3030-3451. Volume 2, № 2, 2025. -10 P.
13. Temirova X., Detection of Diseases in the Oral Cavity, Detection of Dental Caries Using CNN Scientific Electronic Journal "Innovations in Science and Technologies". ISSN:3030-3451. Volume 1, № 1, 2024. -P.175-179
14. Temirova X., Ismailov O., Ismailov M. Dental Radiography Analysis Using Yolov8 Deep Learning Using Raspberry Pi Device Scientific and technical journal "Sustainable Agriculture". ISSN:2181-9408. №2(22), 2024. -P.110-112
15. Ismailov, O., Eshmuradov, D., Temirova, K., & Tulaganova, F. (2024). Analysis of classification problem and its algorithms in machine learning. Science and innovation, 3(A10),4-11.
16. Tulaganova, F., Omonov, S., & Xo'jamqulov, A. (2024, December). Automatic Classification and Diagnostic Analysis of Microscopic Blood Images Using R CNN Model. In Proceedings of the 8th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (pp. 452-458).
17. Eshmuradov, D., & Tulaganova, F. (2025). Innovations in neural networks and their image recognition. digital transformation and artificial intelligence, 3(2), 46-52.
18. Eshmuradov, D., Iskanderova, S., & Tulaganova, F. Algorithms for detection of cells in blood images. In The IV International Scientific and Practical Conference "Innovative research and perspectives of the development of science and technology", January 29-31, 2024, Stockholm, Sweden. 392 p. Text Copyright© 2024 by the European Conference (<https://eu-conf.com/>). Illustrations© 2024 by the European Conference. (p. 328).



19. FK, E. D. T. (2024). Biological composition of blood cells and diagnosis of patients with pathological diseases. *Confrencea*, 2, 101-106.
20. Eshmuradov, D. E., Sayora, I., & Tulaganova, F. K. (2024). An analysis of the use of the yolo algorithm in the diagnosis of blood cell images. *Science and innovation*, 3(Special Issue 17), 299-303.
21. Nurmamatovna, I. S., & Kamaliddinovna, T. F. Analysis of segmentation methods in x-ray images. In *The IV International Scientific and Practical Conference "Science, people and the latest technologies"*, October 09-11, 2023, Sofia, Bulgaria. 218 p. Text Copyright© 2023 by the European Conference (<https://eu-conf.com/>). Illustrations© 2023 by the European Conference. Cover design: European Conference (<https://eu-conf.com/>). (p. 189).
22. Nurmamatovna, I. S., & Kamaliddinovna, T. F. Chagas parasite detection in blood images using adaboost. In *The IV International Scientific and Practical Conference "Science, people and the latest technologies"*, October 09-11, 2023, Sofia, Bulgaria. 218 p. Text Copyright© 2023 by the European Conference (<https://eu-conf.com/>). Illustrations© 2023 by the European Conference. Cover design: European Conference (<https://eu-conf.com/>). (p. 184).
23. Abdievna, S. N., Kamolidinovna, T. F., & Qizi, T. X. F. (2022). Geoaxborot tizimlari va texnologiyalari. *Ta'lim fidoyilari*, 5(9), 598-601.
24. Abdusalomov, A., Mirzaxhalilov, S., Umirzakova, S., Shavkatovich Buriboev, A., Meliboev, A., Muminov, B., & Jeon, H. S. (2025). Accessible AI diagnostics and lightweight brain tumor detection on medical edge devices. *Bioengineering*, 12(1), 62.
25. Abdusalomov, A., Umirzakova, S., Mirzaxhalilov, S., Kutlimuratov, A., Nasimov, R., Temirov, Z., ... & Whangbo, T. K. (2025). A Generative Expert-Narrated Simplification Model for Enhancing Health Literacy Among the Older Population. *Bioengineering*, 12(10), 1066.
26. Abdusalomov, A., Mirzaxhalilov, S., Umirzakova, S., Kalandarov, I., Mirzaaxmedov, D., Meliboev, A., & Cho, Y. I. (2025). Optimized lightweight architecture for coronary artery disease classification in medical imaging. *Diagnostics*, 15(4), 446.



## RAQAMLI KORXONA FAOLIYATINI TASHKIL QILISHNING KONSEPTUAL ASOSLARI

Bahodir Begalov,<sup>1</sup> Muzaffar Abduaxadov,<sup>2</sup> A. Abdusalomov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Toshkent oriental universiteti iqtisodiyot fanlari doktori, professor; e-mail@e-mail.com

<sup>2</sup>Xalqaro Nordik universiteti tayanch doktoranti; muzaffar.abdulakhatov@gmail.com

<sup>3</sup>Toshkent amaliy fanlar universiteti iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim, muzaffar.abdulakhatov@gmail.com

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada bozor iqtisodiyoti sharoitida korxonalar faoliyatini raqamlashtirishning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilingan. Raqamli korxonalar tushunchasi, uning shakllanish omillari hamda raqamli texnologiyalar asosida ishlab chiqarish, boshqaruv va biznes jarayonlarini tashkil etishning konseptual asoslari yoritib berilgan. Tadqiqotda raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonalar samaradorligini oshirish, innovatsion mahsulot va xizmatlar yaratish, boshqaruv qarorlarini qabul qilishda raqamli platformalar, sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar, bulutli texnologiyalar va buyumlar Internetining o'rni ochib berilgan. Shuningdek, raqamli platformalar asosida tovarlarni yetkazib berish zanjirini tashkil etish, raqamli aktivlardan foydalanish hamda korxonalar va jamiyat o'rtasidagi iqtisodiy jarayonlarning o'zaro bog'liqligi tahlil qilingan. Maqolada raqamli texnologiyalarni joriy etish korxonalar raqobatbardoshligini oshirish, boshqaruv samaradorligini ta'minlash va barqaror iqtisodiy rivojlanishga erishishning muhim omili ekanligi asoslab berilgan.

**Kalit so'zlar:** raqamli korxonalar, raqamli iqtisodiyot, raqamli platformalar, biznes-jarayonlar, boshqaruv jarayonlari, sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar (Big Data), bulutli texnologiyalar, buyumlar Interneti (IoT), raqamli aktivlar.

**Аннотация:** В данной статье проанализированы теоретические и практические аспекты цифровизации деятельности предприятия в условиях рыночной экономики. Раскрываются понятие цифрового предприятия, факторы его формирования, а также концептуальные основы организации производства, управления и бизнес-процессов на основе цифровых технологий. В исследовании освещена роль цифровых платформ, искусственного интеллекта, больших данных, облачных технологий и Интернета вещей в повышении эффективности предприятия, создании инновационных продуктов и услуг, а также в принятии управленческих решений в условиях цифровой экономики. Кроме того, проанализированы вопросы организации цепочки поставок товаров на основе цифровых платформ, использования цифровых активов, а также взаимосвязи экономических процессов между предприятием и обществом. В статье обосновано, что внедрение цифровых технологий является важным фактором повышения конкурентоспособности предприятия, обеспечения эффективности управления и достижения устойчивого экономического развития.

**Ключевые слова:** цифровое предприятие, цифровая экономика, цифровая платформа, бизнес-процессы, управленческие процессы, искусственный интеллект, большие данные (Big Data), облачные технологии, Интернет вещей (IoT), цифровые активы.

**Abstract:** This article analyzes the theoretical and practical aspects of enterprise digitalization in the context of a market economy. It explains the concept of a digital enterprise, the factors of its formation, and the conceptual foundations for organizing production, management, and business processes based on digital technologies. The study highlights the role of digital platforms, artificial intelligence, big data, cloud technologies, and the Internet of Things

in improving enterprise efficiency, creating innovative products and services, and supporting managerial decision-making in a digital economy. Additionally, the article examines the organization of supply chains based on digital platforms, the use of digital assets, and the interconnection of economic processes between enterprises and society. The paper substantiates that the implementation of digital technologies is a key factor in enhancing enterprise competitiveness, ensuring management efficiency, and achieving sustainable economic development.

**Keywords:** digital enterprise, digital economy, digital platform, business processes, management processes, artificial intelligence, big data, cloud technologies, Internet of Things (IoT), digital assets.

## 1. Kirish

Bozor iqtisodiyoti sharoitida har bir korxonada faoliyat turidan qat'iy nazar uning ishlab chiqarish, boshqaruv va biznes jarayonlarini bosh-qarish avvalom bor raqabatbardosh mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun sama-rali texnologik jarayonlarni tashkil qilish va takomillashtirib borishni o'z ichiga oladi.

Buning uchun ma'lum bir korxonada doirasida tezkor ishlab chiqarish, moliyaviy, boshqaruv, marketing va xo'jalik axborotlarini yig'ish, saqlash, qayta ishlash va boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun tarqatishni ta'minlaydigan usullar va texnologiyalar qo'llaniladi. Ishlab chiqarish sohasida korxonada faoliyatini boshqarish, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, uning biznes-jarayonlarini rivojlantirishning innovatsion yo'l-larini izlashda raqamli texnologiyalardan qanday foydalanish muhim ahamiyat kasb etmoqda [1], [1–2].

Hozirgi kunda dunyo bo'yicha sanoat rivojlanishi bosqichlarini sanoat inqiloblariga bo'lish qabul qilingan bo'lib, unda ularning har birini tashkil etishda o'ziga xos iqtisodiy usullar qo'llanilib kelingan. Uchinchi sanoat inqilobi ishlab chiqarish jarayonlari va biznes-jarayonlarini avtomatlashtirish va uning natijasi o'laroq iqtisodiy samaradorlikni oshirish ostida amalga oshirilgan. Ushbu yondashuvda korxonada biznesi o'z samaradorligini oshirish va bozordagi talablarga mos kelishi uchun keng foydalanadigan axborot texnologiyalari asosiy hisoblanib, unda asosan avtomatlashtirish xizmat qilgan. Uchinchi sanoat inqilobining gullab-yashnagan davrida, analogli avtomatik qurilmalar o'rniga shaxsiy kompyuter qo'llanilganida «avtomatlashtirish» atamasining o'rniga «kompyuterlash-tirish» atamasi kirib kelib, bu korxonada boshqaruv, tashkiliy, biznes, iqtisodiy va ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish uchun axborot texnologiyalaridan keng foydalanishni nazarda tutar edi [1], [4].

## 2. Asosiy qism

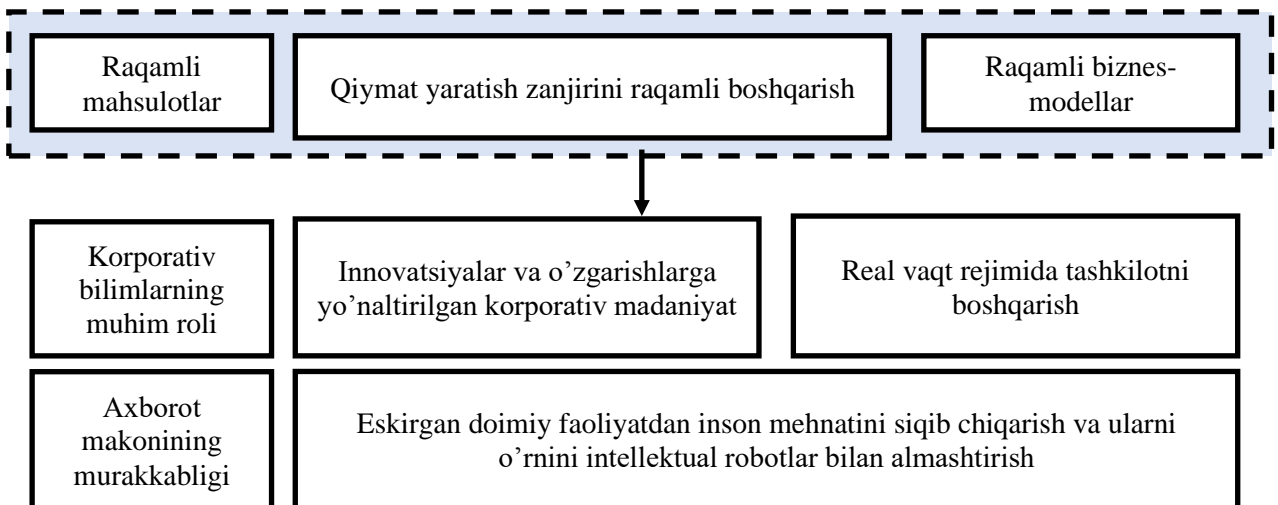
Korxonada iqtisodiyotida kompyuter va tarmoq texnologiyalarini qo'llash orqali amalga oshirilgan o'zgarishlar «raqamli korxonada» (Digital Enterprise) tushunchasining vujudga kelishiga olib keldi. Bu tushuncha ishlab chiqarish iqtisodiyotini tashkil etishning yangi modellarini shakllantirish va ular-dan foydalanishni nazarda tutadi, iqtisodiy taraqqiyotning o'zagini belgilab berdi hamda iqtisodiy jarayonlarga ta'sir ko'lamini sezilarli darajada kengaytirdi. Yangi biznes modellar, boshqaruv jarayonlari va jamiyat hayotini tashkil etish usullaridan keng foydalanish iqtisodiy faoliyatning yangi qiyofasi — raqamli iqtisodiyotning shakllanishiga asos bo'ldi. Uning rivojlanishi mamlakatning raqobatbardoshligini, fuqarolar hayot sifati darajasini oshiradi va iqtisodiy o'sishni ta'minlaydi.

Korxonada iqtisodiyotida kompyuter va tarmoq texnologiyalarini qo'llash orqali amalga oshirilgan o'zgarishlar «raqamli korxonada» (Digital Enterprise) tushunchasining vujudga kelishiga olib keldi. Bu tushuncha ishlab chiqarish iqtisodiyotini tashkil etishning yangi modellarini shakllantirish va ular-dan foydalanishni nazarda tutadi, iqtisodiy taraqqiyotning o'zagini belgilab



berdi hamda iqtisodiy jarayonlarga ta'sir ko'lamini sezilarli darajada kengaytirdi. Yangi biznes modellar, boshqaruv jarayonlari va jamiyat hayotini tashkil etish usullaridan keng foydalanish iqtisodiy faoliyatning yangi qiyofasi — raqamli iqtisodiyotning shakllanishiga asos bo'ldi. Uning rivojlanishi mamlakatning raqobatbardoshligini, fuqarolar hayot sifati darajasini oshiradi va iqtisodiy o'sishni ta'minlaydi[3], [4–6].

Raqamli korxonalar – o'z faoliyatini o'zgartirish, samaradorlikni oshirish, innovatsion mahsulot va xizmatlarni yaratish, mijozlarga yaxshi xizmat ko'rsatish va o'zining bozordagi pozitsiyasini mustahkamlash uchun raqamli texnologiyalar va strategiyalardan foydalanadigan korxonadir (tijorat tashkiloti, notijorat tashkilot yoki jamoatchilik tashkiloti ham bo'lishi mumkin, 1-rasm).



1-rasm. Raqamli korxonaning muhim belgilari.

Korxonada raqamli iqtisodiyot sun'iy intellekt, bulutli texnologiyalar, katta ma'lumotlar texnologiyasi va buyumlar Interneti sohasidagi yutuqlardan keng foydalanadi. Raqamli texnologiyalarni qo'llash bitta korxonada doirasida yagona axborot makonini yaratishni nazarda tutadi, bu makon orqali uning barcha axborot tizimlari va sanoat uskunalari ma'lumotlar bilan tezkor va o'z vaqtida almashinuvni amalga oshira oladi.

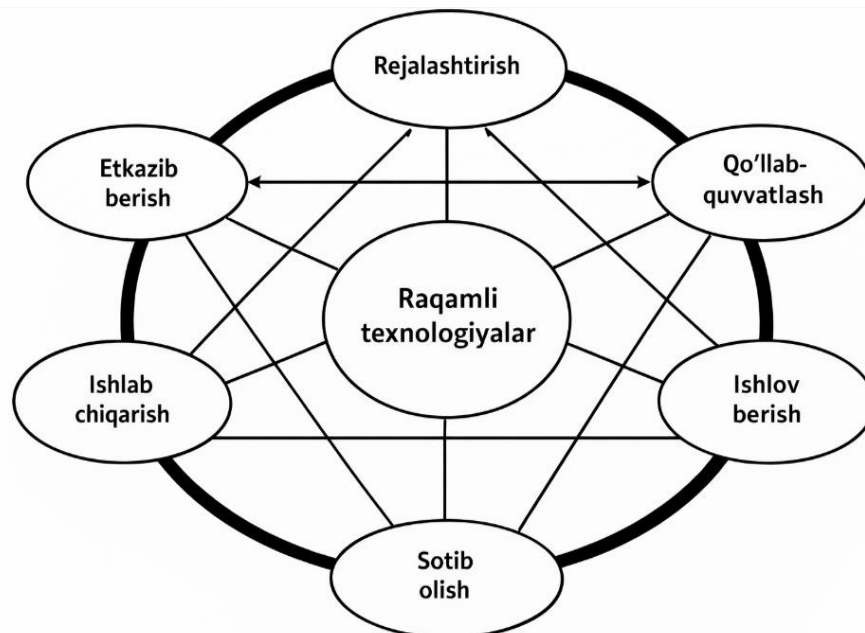
Raqamli iqtisodiyot ijtimoiy jarayonlarni tashkil etish sohasidagi tadqiqotlar va ishlanmalarning transformatsiyasiga ta'sir ko'rsatib, ijro etuvchi hokimiyat organlari, korxonalar, oliy o'quv yurtlari va ilmiy tashkilotlar sa'y-harakatlarini muvofiqlashtirishni ta'minlaydi.

Raqamli iqtisodiyot tizimida raqamli shakldagi ma'lumotlar ishlab chiqarishning asosiy omili bo'lib xizmat qiladi, biznes, ilmiy-tadqiqot hamjamiyati, davlat va fuqarolar o'rtasida samarali o'zaro hamkorlikni ta'minlaydi, iqtisodiyotning an'anaviy tarmoqlarida ham, yangi tarmoqlar va yuqori texnologiyali bozorlarda ham yuqori texnologiyali ishlab chiqarishlarni rivojlantirishga va iqtisodiyotda yuqori raqobatbardoshlikka erishishni ta'minlashga xizmat qiladi.

Raqamli iqtisodiyotdagi o'zgarishlarning asosiy sharti iste'molchi tomonidan tovar yoki xizmatni, shu jumladan texnologik jarayonlar to'g'risidagi ma'lumotlarni, elektron kitoblarni, dasturlarni, ensiklopediyalardan maqolalarni va boshqalarni olish tezligi hisoblanadi. Shu tariqa, yuqori tezlikda amalga oshirilgan ishlab chiqarish raqamli korxonalar iste'molchilarining individual talablarini qondirish imkonini beradi.

Korxonalar iqtisodiyotini boshqarish jarayonlarining raqamli asosga o'tishi tashkiliy muammolarning avtomatik tarzda hal etilishini anglatmaydi. Korxonalar axborot menejmenti vositalaridan keng foydalangan holda an'anaviy biznes-jarayonlar samaradorligiga ham katta

e'tibor qaratishi lozim. Biroq iqtisodchilar uchun asosiy chaqiriq korxonani innovatsion mahsulot ishlab chiqarishga yo'naltirgan holda boshqaruv usullarini transformatsiya qilish va tovarlarni yetkazib berish zanjirini raqamli texnologiyalar asosida tashkil qilish bilan belgilanadi (2-rasm) [7].



2-rasm. Raqamlashtirish sharoitida tovarlarni yetkazib berish zanjiri.

Raqamli iqtisodiyot sun'iy intellekt, bulutli texnologiyalar, katta ma'lumotlar texnologiyasi va buyumlar Interneti sohasidagi yutuqlardan foydalanishga yo'naltirilgan bo'lib, ular tufayli texnik qurilmalar o'zaro turli ko'rinishdagi axborotlarni qabul qilish va uzatish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bunday texnologiyalarni keng qo'llash korxonaning barcha axborot tizimlari, shuningdek sanoat uskunalari o'rtasida o'zaro bog'liqlikni nazar-da tutadi hamda ma'lumotlar bilan tezkor va o'z vaqtida almashinuvni ta'minlaydi. Ushbu raqamli texnologiyalarning o'zaro integratsiyasi korxonada iqtisodiyotning butun miqyosida texnolog-operatorlar va iqtisodchilardan tortib ma'muriyatgacha qamrab oluvchi haqiqiy ishlab chiqaruvchi kuchni shakllantiradi.

Raqamli iqtisodiyotning xususiyatlaridan biri bo'lib, Internet asosidagi jarayonli boshqaruv usullaridan keng foydalanish yo'llarini belgilashda ham namoyon bo'lib, bu esa muayyan biznesda ishtirok etuvchilar sonini sezilarli darajada, hatto millionlab miqdorgacha oshirish imkonini beradi hamda ularning ijtimoiy va ilmiy-texnikaviy taraqqiyotdagi ahamiyatini ta'minlaydi[8-10].

Raqamli texnologiyalar asosida amalga oshirilgan iqtisodiy instrumentlarni samarali qo'llashning muhim natijasi korxonaning muvaffaqiyati uchun hal qiluvchi omillar to'g'risidagi axborotlarni o'z vaqtida olishni ta'minlaydigan to'g'ridan-to'g'ri raqamli aloqa texnologiyalarini joriy etish orqali korxonada raqobatbardoshligini oshirish imkoniyati bo'ladi. Ishlab chiqarish ma'lumotlarini tezkor ravishda butun korxonada va uning alohida elementlarining iqtisodiy holati to'g'risidagi bilimni aylantirish ishlab chiqarish va ijtimoiy jarayonlarni boshqarish samaradorligini oshirish olib keladi.

Raqamli iqtisodiyot hamkorlar va mijozlar bilan bo'lgan munosabatlarni o'zgartiradi, o'zaro hamkorlikning yangi usullarini taklif etadi hamda buyurtmachilar ehtiyojlarini hisobga olgan holda biznes-jarayonlarni nazorat qilishni ta'minlaydi.

Korxonada raqamli iqtisodiyotning shakllanishi va uni samarali qo'llash ishlab chiqarish tizimining raqamli makonini qamrab oladigan muvofiq raqamli axborot-texnologik bazis —



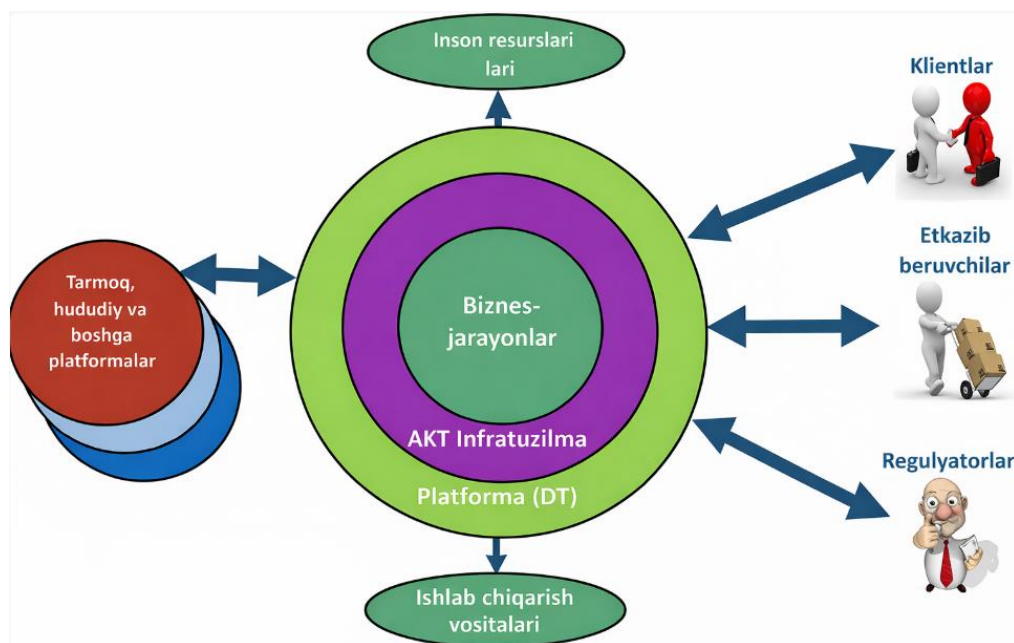
raqamli platformaga tayanishni na-zarda tutadi. Bunday makon ishlab chiqarishni resurslar bilan ta'minlash-ning o'ziga xos turi bo'lib, tashkilot resurslari va jarayonlarining holatini belgilaydi. Korxonaning axborot resurslari ishlab chiqarishni optimallashtirish va korxonani rivojlantirishning innovatsion yo'llarini ishlab chiqishda foydalanish mumkin bo'lgan iqtisodiy vaziyat haqidagi bilimlarni sintez qilish imkonini beradi.

Raqamli iqtisodiyot usullarining rivojlanishi, shuningdek, Internet asosida onlayn savdo sohasida korxonalar faolligining oshishi bilan bog'liq. Axborot tarmoqlarida korxonalar turli yo'nalishdagi do'konlarni tashkil etmoqda: kitob do'konlari, kompakt va videodisklar do'konlaridan tortib, ovqatlanish, tibbiy xizmat ko'rsatish va boshqa korxonalarigacha. Ijtimoiy tarmoqlar va qidiruv resurslari sohasi shakllandi.

Raqamli korxonalar iqtisodiyoti elektron biznes sohasidagi yutuqlardan foydalanib, mahsulot yoki xizmatlarni axborot-tarmoq texnik vositalari orqali sotish huquqini ta'minlaydi. Ushbu vositalar bosma nashrlar, tele-videnie, an'anaviy telefoniya va boshqa aloqa turlarini bosqichma-bosqich o'z ichiga oldi. Bunday texnologiyalarga ega bo'lgan korxonalar raqobat ustunliklariga erishish, mijozlarga xizmat ko'rsatishni yaxshilash va hamkorlar bilan biznes munosabatlarini optimallashtirish maqsadida raqamli interaktiv muloqotdan foydalanish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Korxonada iqtisodiy jarayonlarni boshqarish, avvalo, uning ob'ektlari holati to'g'risida onlayn rejimida shakllanadigan bilimga tayanadi, bu esa taklif etilayotgan tashkiliy va iqtisodiy qarorlarni qo'llash samaradorligini o'z vaqtida bashorat qilish va yakuniy natijalarni oldindan ko'ra bilish imkonini beradi. Boshqaruv maqsadida xavf-xatarlar va tahdidlarni hisobga olgan holda iqtisodiy jarayonlar dinamikasini tavsiflovchi turli raqamli biznes-modellar qo'llaniladi. Modellar yordamida ta'sir ko'rsatish usullari tartibga solinadi hamda korxonalar iqtisodiyotining kutilgan yoki istalgan holatiga doir qarorlar qabul qilinadi (3-rasm).

Iqtisodiy jarayonlar holati to'g'risidagi ma'lumotlarni raqamli muhitga o'tkazish qiymatga ega bo'lgan raqamli aktiv sifatida belgilanadigan ma'lumotlar majmuasini shakllantiradi. Bu ma'lumotlarni korxonaning raqamli iqtisodiy tizimi orqali onlayn rejimida yig'ish, qayta ishlash va uzatish mumkinligini anglatadi.



3-rasm. Raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonalar modeli.



Raqamli aktivlar korxonaga iqtisodiy foyda keltiradigan hamda tash-kilot resurslarini samarali boshqarishni ta'minlaydigan qiymatlarni o'z ichiga oladi. Biroq ushbu qiymatlarni ochib berish uchun tizimli yondashuvni qo'llash va korxonada ishlab chiqarish ob'ektlari o'rtasidagi o'zaro hamkorlikni barcha darajalarda tartibga solish zarur. Bunday texnologiya iqtisodiy paradigmaning infratuzilmaviy elementi hisoblangan raqamli platformadan foydalanishni nazarda tutadi.

Raqamli texnologiya korxonada iqtisodiyoti uchun ko'plab dinamik platformalarni taklif etadi, ular foydalanuvchilar uchun ochiq bo'lgan turli alohida axborot tizimlari va «aqlli» qurilmalarning faol o'zaro hamkorlik qiluvchi tarmog'ini ifodalashi mumkin. Bu esa resurslarni qidirish va yetkazib berish, bitim tuzish, kreditlash va to'lovlarni amalga oshirish, hisob va hisobot operatsiyalarini yuritish, reklama va marketing kabi biznes-jarayonlarni qamrab oladi.

Korxonada raqamli iqtisodiyot ob'ektiv jarayonlar ta'sirida rivojlanadi, ya'ni texnologik jarayonlarni raqamlashtirish, kompyuter texnologiyalari bozorini kengaytirish va yangilash, ishlab chiqarishni tashkil etishda yangi iqtisodiy yechimlarni izlashdan iborat bo'ladi.

Korxonada texnologik jarayonlarni raqamlashtirish ularning resurslar bilan ta'minlanishini optimallashtirish zarurati bilan bog'liq. Korxonani boshqarish tizimi xo'jalik faoliyati jarayonida olingan raqamli ma'lumotlardan foydalanadi, ularni an'anaviy hujjatlar oqimidan ajratib oladi. Raqamli ma'lumotlarni jamlash va ularni tahlil qilish yangi iqtisodiy yechimlarni ishlab chiqish va qo'llash imkonini beradi. Bunday faoliyat zamonaviy kompyuter va tarmoq texnologiyalarini qo'llashni, zarur dasturiy ta'minotdan foydalanishni talab qiladi. Bu sharoitlarda salmoqli ustunliklarga erishgan korxonalar o'z tuzilmasini o'zgartiradi, raqamli texnologiyalarga sarfxarajatlarni oshiradi, biznes samaradorligini oshirishda ishtirok etuvchi mutaxassislar doirasini kengaytiradi.

Kompyuter texnologiyalari bozorining kengayishi va yangilanishi korxonaga ishlab chiqarish samaradorligini baholash va oshirish imkonini beradigan yangi iqtisodiy mexanizmlarni shakllantirish uchun yanada samarali vositalardan foydalanish imkoniyatini beradi. Bu esa yanada mukammal tashkiliy-iqtisodiy qarorlarni qo'llash uchun asos yaratib, korxonaning raqamli texnologiyalarini reinjining qilishga qaratilgan operatsiyalar majmuasini bajarishga undaydi. Shu tariqa raqamli texnologiyalar rivojlanish darajasi bilan yangi iqtisodiy mexanizmlarni shakllantirish o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik amalga oshadi.

Korxonada doirasida raqamli platforma qo'llanilgan holda ishlab chiqarishni boshqarish ham raqamli texnologiyalardan foydalanadi. Bunday korxonada tashkil etish sxemasi korporativ ta'lim afzalliklariga ega bo'lib, xomashyo va personal xarajatlari minimallashtiriladi, alohida korxonalarda qo'shimcha ishlab chiqarish tashkil etiladi, bu esa raqamli resurslarning o'sishiga olib keladi.

Iqtisodiy ko'rsatkichlarni optimallashtirish maqsadida yirik korxonalar kichik korxonalarining malakali xodimlari va zarur ishlab chiqarish darajasidan foydalanib, ulardagi buyurtmalarning bir qismini joylashtiradi, bu esa muhim ahamiyatga ega bo'lishi mumkin. Bu korxonaning axborot makonini kengaytirib, raqamli platformaga tushadigan yukni kuchaytiradi.

Ta'minotchilar, investorlar va mijozlar geografiasini kengaytirish uchun korxonalar virtual biznes usullaridan faol foydalanishga intiladi. Bunday korxonalar bilan munosabatlarni boshqarish maqsadida raqamli platforma imkoniyatlari qo'llaniladi, bu esa korxonada raqamli makonini kengaytirishga xizmat qiladi va korporatsiya boshqaruv tizimini qayta tashkil etishni, axborot makonini bosqichma-bosqich oshirishni hamda yanada rivojlangan raqamli va tarmoq texnologiyalaridan foydalanishni talab qiladi.

Raqamli texnologiyalardan korxonada faoliyatida samarali foydalanishga quyidagini misol tariqasida keltirish mumkin.



31 mamlakat va 200 dan ortiq aholi punktlarini qamrab olgan dunyodagi yetakchi aluminiy va aluminiy mahsulotlarini ishlab chiqaruvchi Alcoa kompaniyasi dastlab biznes yo'nalishlari bo'yicha tashkil etilgan bo'lib, ularning har biri o'z axborot tizimlariga ega edi.

Ushbu axborot tizimlarining aksariyati ortiqcha va samarasiz edi. To'lov va moliyaviy jarayonlar talablarini bajarish uchun Alcoa xarajatlari ancha yuqori edi va ularning aylanish muddati ushbu sohadagi boshqa kompaniyalarga qaraganda uzoqroq edi (sikl vaqti jarayonning boshidan oxirigacha o'tgan umumiy vaqtni anglatadi). Kompaniya butun dunyo bo'ylab yagona korxonaga sifatida ishlay olmadi.

Integratsiyalashgan dasturiy ta'minotni amalga oshirgandan so'ng, Oracle Alcoa ko'plab ortiqcha jarayonlar va axborot tizimlarini yo'q qildi. Integratsiyalashgan axborot tizimi Alcoa qabul qilingan mahsulotlarni tekshirish bilan bir vaqtda to'lov kvitansiyasi avtomatik ravishda shakllantirilishi sababli buyurtmadan to'lovigacha bo'lgan sikl vaqtini qisqartirishga yordam berdi.

Alcoada tranzaksiyalarni qayta ishlash vaqti 89% ga kamaydi. Alcoa moliyaviy va xarid faoliyatini markazlashtirishga muvaffaq bo'ldi, bu esa kompaniyaga o'z xarajatlarning deyarli 20% ni kamaytirishga yordam berdi.

IATlari yuqori menejmentga istalgan vaqtda ma'lum bir tashkiliy birlik qanday ishlashini bilishni, qaysi mahsulotlar eng ko'p yoki eng kam daromad keltirishini aniqlashni va umuman kompaniya xarajatlarni hisoblashni osonlashtiradi.

Korxonaga raqamli resurslarining doimiy rivojlanishi va raqamli plat-formani yangilab turish nafaqat uning funktsionalligi o'sishi va kengayishi, balki ancha qimmatlashishiga ham olib keladi, bu esa ushbu sohadagi investitsiyalardan qaytarimni kamaytiradi, yangi mahsulot chiqarishni qimmatlashtiradi va korporatsiya boshqaruv tizimida o'zgarishlarni talab qiladi. Bunday o'zgarishlar korxonada yangi axborot strukturalari va iqtisodiy boshqaruv usullarini shakllantirish jarayonlarini faollashtiradi.

Shu bois, korxonalar o'z ishlab chiqarishining shundoq iqtisodiy samaradorligini ta'minlashi kerakki, bu raqamli resurslarni yaratish va foydalanish uchun sarflangan xarajatlarni oqalay olishi lozim. Bu maqsadda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va korxonaga raqamli resurslarini tashkil etish masalalarining o'zaro bog'liqligi kompleks ko'rib chiqilishi zarur. [11]

Raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonaga faoliyati natijalarini baholash uchun to'rtta asosiy parametr guruhi qo'llaniladi:

Korxonani boshqarish tizimida raqamli texnologiyalardan keng foydalanishda ishlab chiqarish faoliyatining iqtisodiy xususiyatlari va ularning o'zgarishi.

Tezkor raqamli ma'lumotlarni uzatish jarayonlarini ta'minlovchi korxonaning raqamli resurslarini shakllantirish bo'yicha iqtisodiy ko'rsatkichlar.

Axborot tarmog'i orqali boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish va boshqaruv axborotlarini tarqatishda qo'llaniladigan raqamli ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlash xarajatlari hamda ularning darajasi.

Raqamli ma'lumotlarni qayta ishlash usullaridan keng foydalangan holda korxonaning innovatsion rivojlanishining asosiy yo'nalishlari va mahsulotlarining kutilgan raqobatbardoshligi. [12-13]

Raqamli iqtisodiyotning innovatsion usullarini joriy etish uchun raqamli platformani tashkil qilishda ishtirok etuvchi tuzilma bo'linmalari yagona struktura — korxonaga axborot tizimiga birlashtirilishi zarur. Bunday bo'linma ishlab chiqarish axborotlarini tezkor qayta ishlash va zarur boshqaruv qarorlarini ishlab chiqish uchun ishlab chiqarish xodimlari o'rtasida axborot almashinuvini real vaqtda qo'llab-quvvatlaydi.

Raqamli platforma korxonaning ishlab chiqarish, boshqaruv va biznes jarayonlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, uning strategik potensialini rivojlantirish va amalga oshirish, ishlab chiqarish va personalning bilim darajasini oshirish imkoniyatlarini kengaytiradi. Shu tariqa, ishlab chiqarish

ishtirokchilari o'rtasidagi hamkorlik jarayonlarini amalga oshirish talablari ko'p jihatdan raqamli platformaning amalga oshirilish daraja-sini belgilaydi. Jarayonli boshqaruv iqtisodiyoti, ayniqsa, ishlab chiqarishni tezkor boshqarishni ta'minlashda alohida ahamiyatga ega, chunki u real vaqtda yoki mavjud operativ ishlab chiqarish holatida boshqaruv qarorlari qabul qilish uchun asos yaratadi. Texnologik jarayonlarni raqamli operativ boshqarishning vaqt gorizontalari bo'limlar uchun soniyalardan smenaga (haftaga), seh uchun oyga, korxonaga uchun yilgacha bo'lishi mumkin.

Jarayonli boshqaruv tartiblari yagonalik va o'zaro bog'liqlikda ko'rib chiqilganda, tashkilotning butun jamoasiga ta'sir qilish imkonini beruvchi iqtisodiy mexanizmni tashkil etadi. Raqamli iqtisodiyotning vazifasi — boshqaruv jarayonining xodisi bo'yicha iqtisodiy asoslangan tavsiyalarni olish va ishlab chiqarish jarayonida barcha xodimlarning sa'y-harakatlarini birlashtirishdan iborat.

### 3.Xulosa

Raqamli iqtisodiyot sharoitida korxonaga faoliyatini samarali tashkil etish va boshqarish raqamli texnologiyalarni keng joriy etishni talab etadi. Mazkur tadqiqot natijalariga ko'ra, raqamli korxonaga ishlab chiqarish, boshqaruv va biznes jarayonlarining yagona raqamli axborot makonida integratsiyalashuvi asosida faoliyat yuritishi bilan tavsiflanadi. Bunday yondashuv korxonaga resurslaridan oqilona foydalanish, boshqaruv qarorlarini tezkor va asoslangan holda qabul qilish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar, bulutli texnologiyalar va buyumlar Internetiga asoslangan raqamli platformalar korxonaga iqtisodiyotining muhim infratuzilmaviy elementi hisoblanadi. Ular yordamida raqamli aktivlar shakllantirilib, iqtisodiy jarayonlar real vaqt rejimida monitoring qilinadi va boshqariladi. Natijada korxonaning raqobatbardoshligi oshib, innovatsion mahsulot va xizmatlar yaratish imkoniyatlari kengayadi.

Shuningdek, raqamli texnologiyalar asosida tovarlarni yetkazib berish zanjirini tashkil etish hamda hamkorlar va mijozlar bilan o'zaro munosabatlarni raqamli muhitda boshqarish korxonaga faoliyatining barqarorligini ta'minlaydi. Biroq raqamli transformatsiya jarayonida tashkiliy va iqtisodiy muammolar yuzaga kelishi mumkinligi sababli, raqamli platformani joriy etishda tizimli yondashuvni qo'llash muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa qilib aytganda, raqamli korxonaga faoliyatini tashkil qilishning konseptual asoslari korxonaga iqtisodiy rivojlanishining strategik yo'nalishlarini belgilaydi hamda raqamli texnologiyalarni samarali qo'llash orqali barqaror iqtisodiy o'sishga erishishning muhim omili hisoblanadi.

### 4.Adabiyotlar

1. Begalov B.A., Abdullaev M.Q. Raqamli iqtisodiyot: darslik /
2. B.A. Begalov, M.Q. Abdullaev. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2023. - 364 b.
3. Begalov B.A., Jukovskaya I.Ye. Metodologicheskie osnovy vliya-niya informatsionno-kommunikatsionnykh texnologiy na razvitie natsionalnoy ekonomiki. Monografiya. Tashkent, "Iqtisodiyot". 2018. – 178 s.
4. Begalov B.A., Dadabaeva R.A. "Raqamli strategiya va axborot tizimlari" / Darslik. – T.: "Iqtisodiyot", 2024. – 248 b.
5. Druker Piter. Effektivnoe upravlenie predpriyatiem. - Vilyams, 2018. - 224 str.
6. Jukovskaya I.Ye. Sovershenstvovanie metodologii ispolzova-niya informatsionno-kommunikatsionnykh texnologiy v statistiches-koy deyatelnosti v usloviyax formirovaniya sifrovoy ekonomiki. Avtoref. diss... dokt. ekon. nauk. Tashkent.: TGEU, 2020. 81 s.
7. Kalyanov G.N. Modelirovanie, analiz, reorganizatsiya i avto-matizatsiya biznes-protsesov/ G.N. Kalyanov.-M.: Finansy i statis-tika, 2006. -240 s.



8. Krutin Yu.V. Effektivnost informatsionnykh sistem i texno-logiy / Yu.V. Krutin – Yekaterinburg, 2020.
9. Begalov B.A., Mamadaliyev O.T., Abdusalomova N.B. Issues for Reforming the National Statistical System in the Country: In Case of Republic of Uzbekistan. Asian Journal of Technology & Management Research (AJTMR) ISSN: 2249 – 0892 Special Issue–03, Mar - 2023.
10. Carlos C., Steven M., Database Systems: Design, Implementation, and Management. Cengage. – 2019. P. 802.
11. Kenneth C. Jane P. Management information systems. Managing the Digital Firm. Printed and bound by Courier Kendallville in United States of America. Pearson Education Limited 2016. P. 675.
12. Laudon Kenneth, Laudon Jane Management Information Systems: Managing the Digital Firm, Global Edition 17th Edition. - Pearson, 2021 - 648 p.
13. Michael G., Fundamentals of information systems security. Jones & Bartlett Learning. – 2018. P. 548.



## TALABALAR FAOLLIGINI BAHOLASHDA SARALASH ALGORITMLARI ASOSIDA ISHLASH SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH

Ulashev Asrorjon Nasriddinovich.

O'zbekiston Milliy universitetining Jizzax filiali Dotsent v.b..

ulashevasror8@gmail.com

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada talabalar faolligini baholash jarayonida saralash algoritmlaridan foydalanishning samaradorligi tahlil qilingan. Tadqiqotda turli xil saralash algoritmlarining (masalan, tezkor saralash, pufakchali saralash va tanlab saralash) ishlash tezligi, aniqligi hamda katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlashdagi ustunliklari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, ta'lim jarayonida talabalar faoliyatini reyting asosida baholashda algoritmik yondashuvlarning ahamiyati ochib berilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, saralash algoritmlaridan samarali foydalanish baholash tizimining shaffofligini oshiradi, vaqtni tejaydi va qaror qabul qilish jarayonini optimallashtiradi.

**Kalit so'zlar:** saralash algoritmlari, talabalar faolligi, baholash tizimi, tezkor saralash, pufakchali saralash, tanlab saralash, algoritmik yondashuv, ta'lim jarayoni, ma'lumotlar tahlili.

**Аннотация:** В данной статье анализируется эффективность использования алгоритмов сортировки при оценке активности студентов. Рассматриваются различные виды алгоритмов сортировки (такие как быстрая сортировка, пузырьковая сортировка и сортировка выбором), их скорость работы, точность и преимущества при обработке больших объемов данных. Также раскрывается значимость алгоритмических подходов при рейтинговой оценке деятельности студентов в образовательном процессе. Результаты исследования показывают, что применение алгоритмов сортировки повышает прозрачность системы оценки, экономит время и способствует оптимизации процесса принятия решений.

**Ключевые слова:** алгоритмы сортировки, активность студентов, система оценки, быстрая сортировка, пузырьковая сортировка, сортировка выбором, алгоритмический подход, образовательный процесс, анализ данных.

**Abstract:** This article analyzes the efficiency of using sorting algorithms in evaluating student activity. It examines various types of sorting algorithms (such as quick sort, bubble sort, and selection sort), their performance, accuracy, and advantages when handling large datasets. The study also highlights the importance of algorithmic approaches in ranking-based assessment of student performance within the educational process. The results indicate that the use of sorting algorithms increases transparency in assessment systems, saves time, and optimizes decision-making processes.

**Keywords:** sorting algorithms, student activity, assessment system, quick sort, bubble sort, selection sort, algorithmic approach, educational process, data analysis.

### 1. Kirish

Zamonaviy ta'lim tizimida raqamli texnologiyalarni joriy etish va o'quv jarayonini samarali boshqarish muhim ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi. Ta'lim jarayonining raqamlashtirilishi talabalarning bilim va ko'nikmalarini xolis baholash, ularning faolligini tahlil qilish hamda o'qituvchi faoliyatini optimallashtirish imkonini beradi. Ushbu jarayonda o'qituvchi uchun mo'ljallangan boshqaruv panellari muhim ahamiyat kasb etib, ular orqali talabalarning faoliyati va o'quv jarayoni real vaqt rejimida kuzatiladi.

O'quv jarayonida qo'llaniladigan algoritmlarning samaradorligi ta'lim sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Xususan, ma'lumotlarni qayta ishlashda keng qo'llaniladigan saralash



algoritmalarining bajarilish vaqti hamda xotira sarfi ularning amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini belgilovchi asosiy omillardan hisoblanadi. Shu sababli algoritmalarini nafaqat nazariy murakkablik nuqtayi nazaridan, balki tajribaviy natijalar asosida ham baholash zarurati yuzaga keladi.

Mazkur tadqiqotda o'qituvchi boshqaruv panelida qo'llanilgan saralash algoritmalarining samaradorligini baholash masalasi ko'rib chiqiladi. Algoritmalarining bajarilish vaqti va xotira sarfi maxsus vizual vositalar yordamida tahlil qilinib, olingan natijalar matematik modellar orqali umumlashtiriladi. Bu yondashuv algoritmik jarayonlarni aniq va tushunarli ko'rinishda ifodalash imkonini beradi.

So'nggi yillarda algoritmalarini baholash va taqqoslash jarayonida bulutli texnologiyalar asosida yaratilgan interaktiv simulyatorlardan foydalanish kengayib bormoqda. Bunday simulyatorlar foydalanuvchilarga turli algoritmalarini real vaqt rejimida sinovdan o'tkazish, ularning bajarilish jarayonini kuzatish va natijalarini solishtirish imkonini beradi. Ushbu ishda bulutli interaktiv simulyator yordamida saralash algoritmalarining tajribaviy ko'rsatkichlarini tahlil qilish va ularni ilmiy asosda baholash modeli taklif etiladi.

## 2. Metodologiya

### Tadqiqotda qo'llanilgan algoritmlar.

Mazkur tadqiqotda saralash jarayonlarining samaradorligini baholash maqsadida boshqaruv paneliga bir qator klassik saralash algoritmalarini integratsiya qilindi. Ushbu algoritmlar ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonida keng qo'llanilishi, nazariy jihatdan yaxshi o'rganilgani hamda amaliy samaradorligi bilan ajralib turadi.

Tadqiqot doirasida quyidagi saralash algoritmalaridan foydalanildi.

- **Bubble Sort** — soddaligi bilan ajralib turuvchi, ketma-ket solishtirish va almashtirish tamoyiliga asoslangan algoritm;

- **Quick Sort** — bo'lish va hukmronlik (divide and conquer) yondashuviga asoslangan, o'rtacha holatda yuqori samaradorlikka ega algoritm;

- **Merge Sort** — rekursiv ajratish va birlashtirish mexanizmi orqali ishlovchi barqaror saralash algoritmi;

- **Heap Sort** — binar uyum (heap) tuzilmasiga asoslangan holda elementlarni tartiblashni amalga oshiruvchi algoritm.

Mazkur algoritmalarining tanlanishi ularning vaqt va xotira murakkabliklarini o'zaro taqqoslash, shuningdek, sun'iy intellekt asosidagi baholash modeli orqali samaradorliklarini kompleks tahlil qilish imkonini beradi.

Ushbu algoritmlar talabalar tomonidan bajarilgan amallarni yoki ma'lumotlar to'plamini saralash orqali ishlash samaradorligini solishtirish uchun tanlangan.

### Algoritmalarining hisoblash murakkabligi.

Algoritmalarining nazariy vaqt murakkabligi quyidagicha ifodalanadi.

Bubble Sort

$$T(n) = O(n^2)$$

Quick Sort (o'rtacha holat)

$$T(n) = O(n \log n)$$

Merge Sort

$$T(n) = O(n \log n)$$

Heap Sort

$$T(n) = O(n \log n)$$

Bu yerda  $n$  — saralanayotgan elementlar soni.

### Ishlash samaradorligini baholash modeli.

Boshqaruv panelida aks ettirilgan ishlash samaradorligi grafigi quyidagi matematik model asosida ifodalanishi mumkin.

Algoritm samaradorligi

$$E_i = \frac{n}{T_i(n)}$$

bu yerda:

- $E_i$ — i-algoritmning samaradorligi,
- $T_i(n)$ — i-algoritmning bajarilish vaqti.

Talaba faolligi ko'rsatkichi

$$A = \frac{N_{\text{aktiv}}}{N_{\text{umumiy}}} \times 100\%$$

bu yerda:

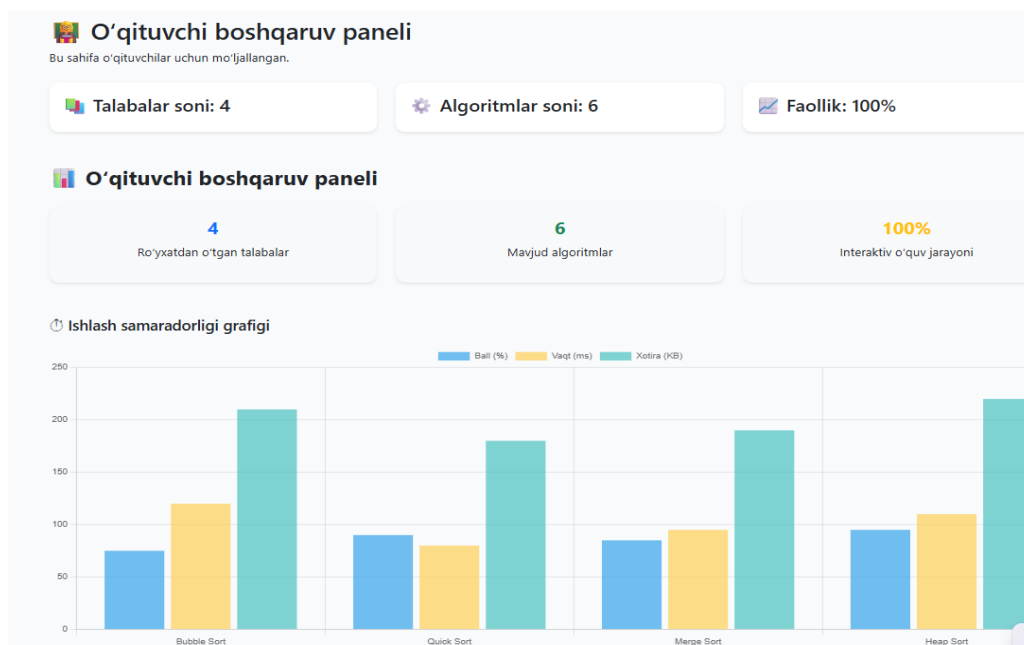
- $N_{\text{aktiv}}$ — faol talabalar soni,
- $N_{\text{umumiy}}$ — umumiy talabalar soni.

Umumiy o'quv jarayoni samaradorligi

$$S = \alpha E + \beta A$$

bu yerda:

- $E$ — algoritmik samaradorlik,
- $A$ — talabalar faolligi,
- $\alpha, \beta$ — og'irlik koeffitsiyentlari ( $\alpha + \beta = 1$ ).



1-rasm. O'quv jarayonini boshqarish va algoritm samaradorligini vizual monitoring qilish paneli

Vizualizatsiya oynasi saralash algoritmlarining kirish o'lchami  $N$ ga bog'liq holda.

- bajarilish vaqti (Time, ms),
- xotira sarfi (Memory, KB) ni eksperimental va matematik asosda baholashga mo'ljallangan.



Kirish ma'lumotlari.

$$N = \{100, 500, 1000, 2000, 5000\}$$

Vaqt murakkabligini hisoblash modeli (**Time Complexity**)

**Nazariy vaqt modeli.**

Har bir algoritm uchun bajarilish vaqti quyidagicha modellashtiriladi:

$$T(N) = c \cdot f(N)$$

bu yerda:

- $N$ — elementlar soni,
- $f(N)$ — algoritmning nazariy murakkabligi,
- $c$ — apparat va dasturiy muhitga bog'liq konstanta.

**Saralash algoritmlari uchun formulalar.**

Bubble Sort

$$T_{BS}(N) = c_1 \cdot N^2$$

Quick Sort (o'rtacha holat)

$$T_{QS}(N) = c_2 \cdot N \log_2 N$$

Merge Sort

$$T_{MS}(N) = c_3 \cdot N \log_2 N$$

Heap Sort

$$T_{HS}(N) = c_4 \cdot N \log_2 N$$

Grafikdagi vaqt qiymatlari (**ms**) amalda quyidagicha olinadi.

$$T_{real}(N) = \frac{t_{end} - t_{start}}{10^6}$$

Xotira sarfini hisoblash modeli (**Memory Complexity**).

Umumiy xotira modeli

$$M(N) = M_{data}(N) + M_{aux}(N)$$

bu yerda:

- $M_{data}(N)$ — kirish massivining xotirasi,
- $M_{aux}(N)$ — qo'shimcha yordamchi xotira.

**Algoritmlar bo'yicha xotira formulalari.**

Bubble Sort

$$M_{BS}(N) = c_5 \cdot N$$

Quick Sort

$$M_{QS}(N) = c_6 \cdot \log N$$

Merge Sort

$$M_{MS}(N) = c_7 \cdot N$$

Heap Sort

$$M_{HS}(N) = c_8 \cdot N$$

Grafikdagi xotira qiymati KB da:

$$M_{KB} = \frac{M_{bytes}}{1024}$$

### Grafiklar qanday hosil bo'ladi

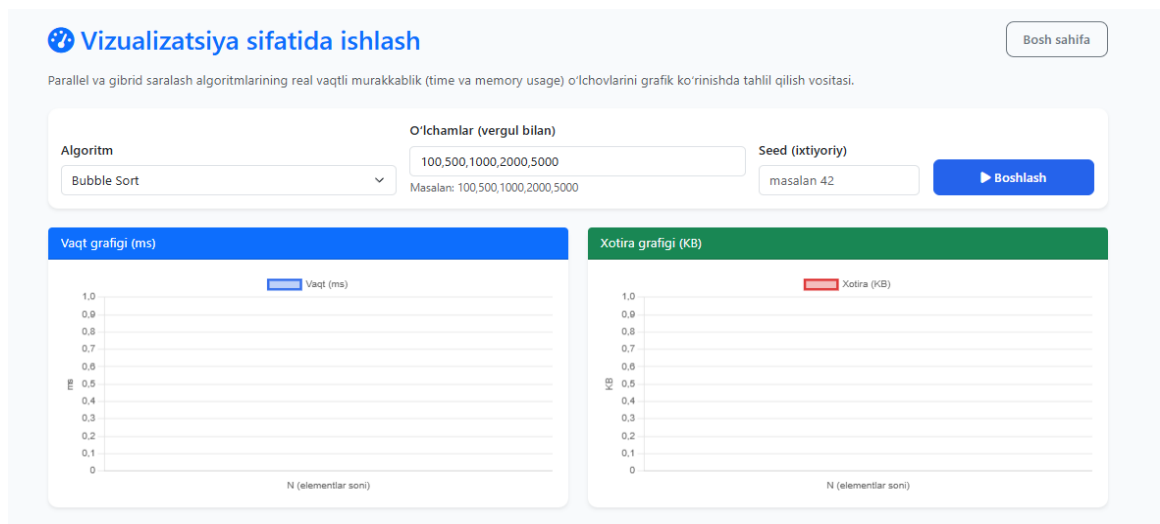
Vaqt grafigi

$$(N, T_{real}(N)) \Rightarrow \text{Time chart}$$

Xotira grafigi

$$(N, M_{KB}(N)) \Rightarrow \text{Memory chart}$$

Shu sababli grafiklar monoton o'suvchi yoki logarifmik ko'rinishda bo'ladi.



2-rasm. Saralash algoritmlarining bajarilish vaqti hamda xotira sarfini vizual baholash muhiti.

Tadqiqotda Bubble Sort, Quick Sort, Merge Sort va Heap Sort algoritmlari tanlandi. Har bir algoritm uchun kirish ma'lumotlari hajmi

$$N = \{100, 500, 1000, 2000, 5000\}$$

qiymatlarida o'zgartirilib, bajarilish vaqti va xotira sarfi o'lchandi.

Algoritmning bajarilish vaqti quyidagi umumiy model asosida baholandi:

$$T(N) = c \cdot f(N),$$

bu yerda  $N$ — elementlar soni,  $f(N)$ — algoritmning nazariy murakkablik funksiyasi,  $c$ — muhitga bog'liq koeffitsiyent.

Saralash algoritmlari uchun vaqt murakkabligi quyidagicha ifodalandi.

- Bubble Sort:  $T(N) = c_1 N^2$ ;
- Quick Sort (o'rtacha holat):  $T(N) = c_2 N \log N$ ;
- Merge Sort:  $T(N) = c_3 N \log N$ ;
- Heap Sort:  $T(N) = c_4 N \log N$ .

Xotira sarfi quyidagi model orqali aniqlandi:

$$M(N) = M_{asosiy}(N) + M_{yordamchi}(N),$$



va natijalar kilobayt (KB) ko‘rinishida ifodalandi.

### Bajarilish vaqti natijasining matematik ko‘rinishi

Algoritmning massiv uzunligi  $n$  uchun real bajarilish vaqti:

$$T(n) = t_{\text{yakun}} - t_{\text{boshlanish}}$$

Nazariy va tajribaviy natijalar quyidagi model bilan moslashtiriladi:

$$T(n) \approx c \cdot f(n),$$

bu yerda:

- $f(n)$ — algoritm murakkabligi funksiyasi
  - Bubble Sort:  $f(n) = n^2$ ,
  - Quick / Merge / Heap Sort:  $f(n) = n \log n$ ;
- $c$ — apparat va muhit koeffitsiyenti.

2-rasmdagi Time (s) grafigi:

$$\{(n_i, T(n_i))\}_{i=1}^k$$

### Xotira sarfi natijasining matematik ko‘rinishi

Algoritm uchun umumiy xotira sarfi:

$$M(n) = M_{\text{asosiy}}(n) + M_{\text{yordamchi}}(n)$$

KB birlikda:

$$M_{\text{KB}}(n) = \frac{M(n)}{1024}$$

Grafikda bu qiymatlar:

$$\{(n_i, M_{\text{KB}}(n_i))\}$$

### Integral baholash (Score) natijasining matematik modeli

3-rasmda ko‘rsatilgan **Score** algoritmning umumiy samaradorligini ifodalaydi va u vaqt hamda xotira ko‘rsatkichlari asosida aniqlanadi.

Normallashtirish

$$\hat{T}(n) = \frac{T(n)}{\max T}, \hat{M}(n) = \frac{M(n)}{\max M}$$

Vaznli baholash funksiyasi

$$\text{Score}(n) = \alpha \cdot (1 - \hat{T}(n)) + \beta \cdot (1 - \hat{M}(n)), \alpha + \beta = 1$$

bu yerda:

- $\alpha$ — vaqtning ahamiyat koeffitsiyenti,
- $\beta$ — xotiraning ahamiyat koeffitsiyenti.

**3-rasmdagi Score grafigi** aynan shu funksiya orqali hosil qilinadi.

3-rasmdagi holat uchun yakuniy matematik natija

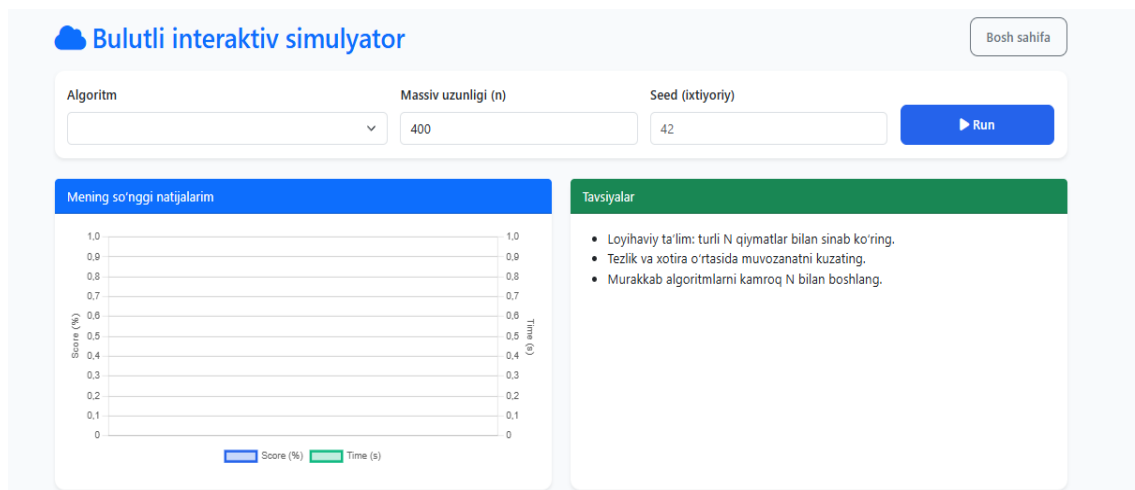
Agar rasmda:

- $n = 400$ ,
- $T(400) = t_0$ ,
- $M(400) = m_0$

bo‘lsa, yakuniy baho:

$$\text{Score}(400) = \alpha \left(1 - \frac{t_0}{\max T}\right) + \beta \left(1 - \frac{m_0}{\max M}\right)$$

Bu qiymat grafikda ko'rsatilgan ko'k (Score) chiziq/belgiga mos keladi.



3-rasm. Algoritmning bajarilish vaqti hamda samaradorligini bulutli interaktiv simulyator yordamida baholash muhiti.

4-rasmda bir nechta algoritmlar bo'yicha olingan natijalar sun'iy intellekt yordamida umumlashtirilgan holda quyidagi mezonlar asosida tahlil qilinadi.

- ball (samaradorlik bahosi, %),
- bajarilish vaqti (s),
- xotira sarfi (KB),
- urinishlar soni.

AI moduli ushbu ko'rsatkichlar asosida eng yaxshi va eng sekin algoritmlarni aniqlaydi hamda statistik umumlashgan natijalarni chiqaradi.

#### Kirish ma'lumotlarining matematik modeli.

Faraz qilaylik,  $m$ ta algoritm sinovdan o'tkazilgan bo'lsin.

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$$

Har bir algoritm uchun quyidagi vektor aniqlanadi.

$$\mathbf{x}_i = (B_i, T_i, M_i, U_i)$$

bu yerda:

- $B_i$ — algoritmning balli (%),
- $T_i$ — bajarilish vaqti (s),
- $M_i$ — xotira sarfi (KB),
- $U_i$ — urinishlar soni.

#### AI asosidagi umumiy statistik tahlil.

“AI asosidagi umumiy tahlil” quyidagi matematik ifodalar orqali olinadi.

O'rtacha ball



$$\bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$$

O'rtacha bajarilish vaqti

$$\bar{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i$$

O'rtacha xotira sarfi

$$\bar{M} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m M_i$$

### Eng yaxshi va eng sekin algoritmni aniqlash.

Eng yaxshi algoritm (AI qarori)

AI moduli maksimal ballga ega algoritmni tanlaydi.

$$A_{\text{eng yaxshi}} = \arg \max_{A_i} B_i$$

Eng sekin algoritm

$$A_{\text{eng sekin}} = \arg \max_{A_i} T_i$$

Bu natijalar Figure 5 da matnli ko'rinishda chiqariladi.

### Integral AI baholash modeli (Score)

AI yakuniy qarorni ko'p mezonli baholash orqali chiqaradi. Har bir algoritm uchun. Normallashtirish

$$\hat{T}_i = \frac{T_i}{\max T}, \hat{M}_i = \frac{M_i}{\max M}$$

Yakuniy AI bahosi

$$Score_i = \alpha \cdot B_i + \beta \cdot (1 - \hat{T}_i) + \gamma \cdot (1 - \hat{M}_i), \alpha + \beta + \gamma = 1$$

AI tizimi **Score** <sub>*i*</sub> maksimal bo'lgan algoritmni optimal deb belgilaydi.

Grafiklarning matematik mazmuni (4-rasm)

Figure 5 da uchta grafik mavjud:

Ball grafigi:

$$\{(A_i, B_i)\}$$

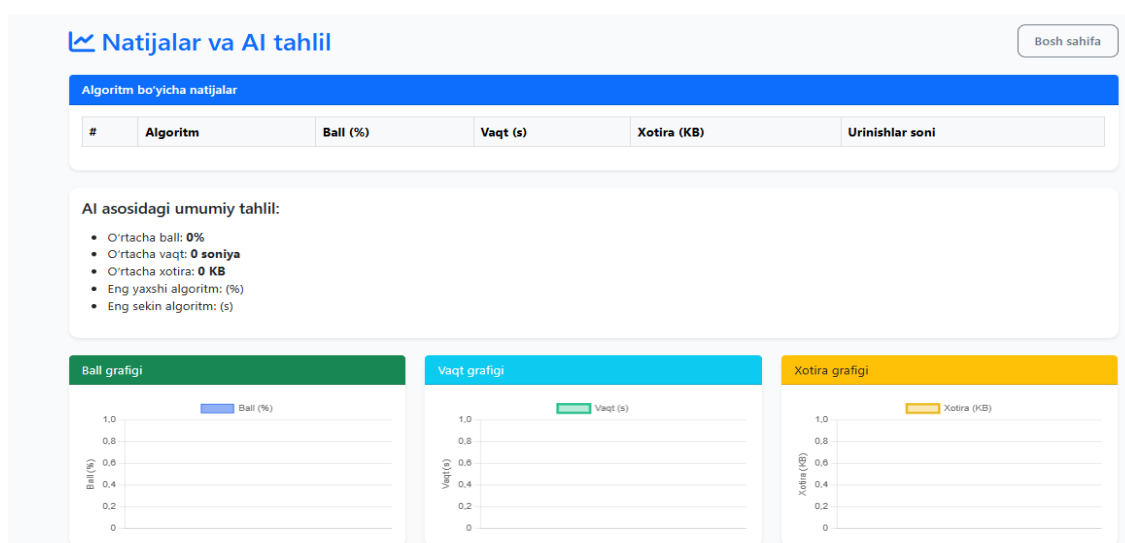
Vaqt grafigi:

$$\{(A_i, T_i)\}$$

Xotira grafigi:

$$\{(A_i, M_i)\}$$

Bu grafiklar algoritmlarni vizual va sonli jihatdan taqqoslash imkonini beradi.



4-rasm. Algoritmning bajarilish vaqti, xotira sarfi va samaradorligini sun'iy intellekt yordamida tahlil qilish muhiti.

### 3. Natijalar

O'tkazilgan tajribalar natijalari saralash algoritmlarining samaradorligi kirish ma'lumotlari hajmiga sezilarli darajada bog'liq ekanligini ko'rsatdi. Boshqaruv paneli va vizualizatsiya muhitida olingan natijalarga ko'ra, Quick Sort, Merge Sort va Heap Sort algoritmlari bajarilish vaqti hamda resurslardan foydalanish nuqtayi nazaridan yuqori samaradorlikni namoyon etdi. Ushbu algoritmlar katta hajmdagi massivlarni qayta ishlashda barqaror ishlash xususiyatiga ega.

Bubble Sort algoritmi kichik hajmdagi ma'lumotlar uchun qoniqarli natija bergan bo'lsa-da, massiv hajmi oshishi bilan bajarilish vaqti keskin ortishi kuzatildi. Vizual tahlil natijalari mazkur algoritmda bajarilish vaqti kvadratik qonuniyat asosida o'sishini ko'rsatib, uni katta hajmdagi ma'lumotlar uchun samarasiz ekanligini tasdiqladi.

Grafik ko'rinishdagi natijalar algoritmlar orasidagi farqlarni aniq ifodalab berdi. Vizualizatsiya oynasida algoritmlarning bajarilish vaqti va xotira sarfi kirish hajmiga bog'liq holda tasvirlanib, nazariy murakkablik baholari bilan tajribaviy natijalar o'rtasida moslik mavjudligi aniqlandi. Xususan, Quick Sort, Merge Sort va Heap Sort algoritmlarida bajarilish vaqti  $N \log N$  qonuniyatiga mos ravishda o'sdi.

Xotira sarfi bo'yicha Merge Sort algoritmi qo'shimcha yordamchi massivlardan foydalanishi sababli nisbatan yuqoriroq ko'rsatkichlarga ega bo'ldi. Biroq bu holat uning umumiy samaradorligiga sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatmadi. Bulutli interaktiv simulyator yordamida shakllantirilgan avtomatik tavsiyalar foydalanuvchilarga kirish ma'lumotlari hajmiga mos algoritmni tanlash imkonini berdi. Natijada algoritmlarni baholash va taqqoslash jarayoni obyektiv va qulay shaklda amalga oshirildi.

### 4. Muhokama

Tadqiqot davomida olingan natijalar algoritmlar nazariyasida keltirilgan vaqt va xotira murakkabligi baholari bilan mos ekanligini ko'rsatdi. Tajriba natijalariga ko'ra, hisoblash murakkabligi yuqori bo'lgan algoritmlar katta hajmdagi ma'lumotlar bilan ishlaganda bajarilish vaqtining sezilarli ortishiga olib keladi. Bu holat real vaqt rejimida ishlovchi interaktiv ta'lim tizimlarida foydalanuvchi faolligining pasayishiga sabab bo'lishi mumkin.

Vizualizatsiya ish maydonida olingan grafik natijalar algoritmlarning samaradorligini tezkor va tushunarli tarzda baholash imkonini berdi. Ushbu yondashuv yordamida vaqt va xotira sarfi



bo'yicha algoritmlar o'rtasidagi farqlar aniq ko'rinishda namoyon bo'ldi. Natijada, algoritmlarni taqqoslash jarayoni soddalashib, ularning amaliy qo'llanish sohasi asosli ravishda baholandi.

Bulutli interaktiv simulyator asosida o'tkazilgan tajribalar baholash jarayonining obyektivligini ta'minladi. Tasodifiy boshlang'ich parametrdan foydalanish tajribalarni bir xil sharoitda takrorlash imkonini berib, olingan natijalarning ishonchlilikini oshirdi. Shu bilan birga, ushbu yondashuv algoritmik murakkablikni nazariy model bilan bir qatorda amaliy sharoitda ham tahlil qilish imkonini yaratdi.

### 5. Xulosa

Ushbu tadqiqotda o'qituvchi boshqaruv panelida qo'llanilgan saralash algoritmlarining samaradorligi matematik va tajribaviy jihatdan baholandi. Olingan natijalar Quick Sort, Merge Sort va Heap Sort algoritmlarining vaqt va xotira resurslaridan foydalanish bo'yicha yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Taklif etilgan vizual va AI asosidagi baholash modeli algoritmlarning nazariy murakkabligi hamda real ishlash ko'rsatkichlarini birgalikda tahlil qilish imkonini beradi va raqamli ta'lim tizimlarida algoritmlarni tanlash hamda qaror qabul qilish jarayonlarini optimallashtirishda amaliy ahamiyat kasb etadi.

### 6. Adabiyotlar

1. Ulashev, A., Norqo'ziyev, Q., Kayumova, N., & Nizametdinov, A. (2024). Ingliz tilini o'rganishda mobil ilova. *International Journal of scientific and Applied Research*, 1(3), 156-160.
2. Sambhram, R. P., Nasriddinovich, U. A., Komiljon o'g, N. Z. Q., & Toxir Turg'un o'g, A. (2024). GUEST HOUSE WEBSITE. *IJODKOR O'QITUVCHI*, 4(40), 74-79.
3. Nasriddinovich, U. A. (2024). Axborotlashgan pedagogik texnologiyalar-ta'lim samaradorligini oshirishning samarali vositasi. *tadqiqotlar. uz*, 37(3), 166-168.
4. Mamasolievich J. D., Nasriddinovich U. A., Zafarovna M. M. Effective array training: application of vr/ar and mathematical models //European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies. – 2024. – T. 4. – №. 05. – C. 216-227.
5. Nasriddinovich U. A. Umumlashgan baholar asosida tibbiyot sohasi ekspertlarining mulohazalarini qiyosiy tahlil qilish //Proceedings of International Conference on Educational Discoveries and Humanities. – 2024. – T. 3. – №. 5. – C. 235-238.



# Management and Future Technologies