ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 1

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

INTELLEKTUAL SUV OMBORI MONITORING TIZIMLARIDA IOT ARXITEKTURASI, SENSORLAR INTEGRATSIYASI VA MA'LUMOT ALMASHISH PROTOKOLLARI

Karimov Sardor Atxam o'g'li
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Kompyuter tizimlari kafedrasi, assistant o'qituvchisi, Toshkent, O'zbekiston
E-mail: s.karimov@tuit.uz
Raximberdiyev Sanjarbek Alisher o'g'li
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Raqamli texnologiyalar konvergentsiyasi kafedrasi, assistent o'qituvchisi,
Toshkent, O'zbekiston
E-mail: s.raximberdiyev@tuit.uz

Annatatsiya. Suv tanqisligi va suv resurslarini noto'g'ri boshqarish muammosi muhim hisoblanadi. Ushbu maqolada real vaqt rejimida ishlaydigan IoT asosidagi aqlli suv sathi monitoring tizimi taklif etiladi. Tizim ultratovushli, bosim va sig'imli sensorlarni MQTT, LoRaWAN va GSM protokollari bilan birlashtiradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, shahar sharoitida 98,5% aniqlik va 5 soniyadan kam kechikish ta'minlanadi. Yechim suv yo'qotilishini kamaytirish va monitoring xarajatlarini qisqartirishga yordam beradi.

Kalit so'zlar: Internet of Things, Water Management, Sensor Networks, MQTT, LoRaWAN, GSM, Real-time Monitoring, Communication Protocols

Abstract. Water scarcity and inefficient water resource management are significant issues. This paper presents an IoT-based smart water level monitoring system operating in real time. The system integrates ultrasonic, pressure, and capacitive sensors with MQTT, LoRaWAN, and GSM communication protocols. Results show 98.5% accuracy and less than 5 seconds latency in urban environments. The solution helps reduce water loss and lowers manual monitoring costs.

Keywords: Internet of Things, Water Management, Sensor Networks, MQTT, LoRaWAN, GSM, Real-time Monitoring, Communication Protocols.

Аннотация. Дефицит воды и неэффективное управление водными ресурсами являются важными проблемами. В статье предлагается IoT-система мониторинга уровня воды в реальном времени. Система объединяет ультразвуковые, датчиковые и ёмкостные сенсоры с протоколами MQTT, LoRaWAN и GSM. Результаты показывают точность 98,5% и задержку менее 5 секунд в городских условиях. Решение снижает потери воды и уменьшает затраты на ручной мониторинг.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: Интернет вещей, управление водными ресурсами, сенсорные сети, MQTT, LoRaWAN, GSM, мониторинг в реальном времени, коммуникационные протоколы.

1. KIRISH.

Global suv resurslari iqlim o‘zgarishi, aholi sonining o‘sishi va tezkor urbanizatsiya tufayli misli ko‘rilmagan bosim va tahdidlar ostida qolmoqda. Birlashgan millatlar tashkiloti ma’lumotlariga ko‘ra, 2050-yilga borib taxminan 5,7 milliard inson yil davomida kamida bir oy suv tanqisligini boshdan kechiradi [2]. Suv resurslarini samarali boshqarish uchun suv saqlash inshootlarini doimiy monitoring qilish talab etiladi, biroq an’anaviy qo‘lda tekshirish usullari hanuzgacha ko‘p mehnat talab qiluvchi, samarasiz va inson omili sababli xatolarga moyil bo‘lib qolmoqda.

Internet of Things (IoT) texnologiyasi suv boshqaruvi infratuzilmasini tubdan o‘zgartirish imkoniyatiga ega. Tanlangan sensor tarmoqlari va ma’lumotlarni aqlli qayta ishlash tizimlari yordamida tashkilotlar real vaqt rejimidagi monitoring, bashoratli tahlil va avtomatlashtirilgan boshqaruv mexanizmlarini amalga oshirishi mumkin.[4] So‘nggi yillarda simsiz aloqa texnologiyalarining — ayniqsa MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) va GSM (Global System for Mobile Communications) — rivojlanishi turli geografik hududlarda, jumladan uzoq va infratuzilmasi cheklangan hududlarda ham keng ko‘lamli IoT tizimlarini iqtisodiy jihatdan samarali joriy etish imkonini yaratdi.[9]

Ushbu maqola integratsiyalashgan suv monitoringi yechimlaridagi muhim bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, bir nechta sensor modalliklarini gibrid aloqa protokollari bilan birlashtirgan keng qamrovli tizim arxitekturasini taqdim etadi.

Taklif etilayotgan yechim quyidagilardan iborat:

1. Suv sathini o‘lchash uchun ultratovush, bosim va sig‘im sensorlarining batafsil qiyosiy tahlili;
2. Turli xil sensor kirishlarini boshqaradigan mustahkam ma’lumotlar oqimining (data pipeline) loyihalash va amalga oshirilishi;
3. Turli geografik sharoitlarida uchta aloqa protokoli bo‘yicha empirik baholash;
4. Uchta amaldagi suv ombori inshootlarida o‘tkazilgan tajribaviy natijalar orqali amaliy imkoniyat va iqtisodiy samaradorlikni ko‘rsatish.

2. MATERIALLAR VA METODLAR

2.1 Tizim arxitekturasi umumiy ko‘rinishi

Taklif etilayotgan IoT asosidagi suv monitoring tizimi to‘rtta asosiy kichik tizimdan iborat:

ISSN 3030-3907

1. **Senzor qatlami** — suv ombori inshootlarining turli chuqurlik nuqtalarida joylashtirilgan tarqoq sensorlar;
2. **Aloqa qatlami** — MQTT, LoRaWAN va GSM protokollarini qo‘llab-quvvatlovchi gibrid tarmoq infratuzilmasi;
3. **Qayta ishlash qatlami** — lokal ma’lumotlarni tekshirish va yig‘ish uchun mo‘ljallangan edge computing qurilmalari;
4. **Ilova qatlami** — foydalanuvchi interfeysi va ogohlantirish mexanizmlariga ega bulutli analitika platformasi.

2.2 Sensor tanlovi va asoslanishi

Suv sathini aniqlash uchun uch xil sensor texnologiyasini baholash jadavali shakllantirildi va ularning har biri o‘ziga xos afzalliklarga ega:

1-Jadval

Sensor turi	O‘lchash prinsipi	Ishlash diapazoni	Aniqligi
Ultratovushli sensor	To‘lqinning borib-qaytish vaqti asosida	0–30 metr	±2 sm
Bosim sensori	Gidrostatik bosim asosida	0–100 metr	±1 sm
Sig‘imli sensor	Dielektrik o‘zgarish asosida	0–5 metr	±3 sm

Ultratovush sensorlari asosiy o‘lchovlar uchun tanlandi, chunki ular kontakt qilmasdan ishlaydi, keng o‘lchov diapazoniga ega va ochiq suv omborlarida uchraydigan ekologik ifloslantiruvchilarga ta’sirchan emas. Bosim sensorlari chuqurlikka asoslangan qo‘shimcha o‘lchovlarni taqdim etadi, bu ayniqsa suv ostiga o‘rnatish holatlarida qimmatli hisoblanadi. Sig‘im (kapasitiv) sensorlari esa qo‘shimcha verifikatsiya vositasi sifatida xizmat qiladi, bu esa tizimda ortiqcha nazorat (redundancy) va nosozliklarni aniqlash imkonini beradi. Ushbu ko‘p-sensorli yondashuv sensorlarni birlashtirish algoritmlari orqali tizimning ishonchliligini va ma’lumotlarning yaxlitligini ta’minlaydi.

2.3 Aloqa protokollari arxitekturasi

Tadqiqotda uchta bir-birini to‘ldiruvchi protokollarni qo‘llab-quvvatlovchi gibrid aloqa arxitekturasini taklif etiladi:

2-Jadval

Protokol	**Qamrov masofasi**	**Ma’lumot uzatish tezligi**	**Energiya sarfi**	**Internet talabi**	**Qo‘llanilish sohasi**

ISSN 3030-3907

MQTT	O‘rta	Yuqori	O‘rta	Talab etiladi	Shahar / Wi-Fi tarmoqlari
LoRaWAN	Uzoq	Past	Juda past	Ixtiyoriy	Uzoq va chekka hududlar
GSM	Uzoq	O‘rta	Past	Talab etiladi	Zaxira / eski tizimlar

MQTT shahar va yaxshi ulanishga ega obyektlarda asosiy aloqa mexanizmi sifatida tanlandi. U past kechikishli *publish-subscribe* xabar almashinuvi va xizmat sifati (QoS) kafolatlarini taqdim etadi. **LoRaWAN** uzoq masofali va energiya tejamkor yechim sifatida qishloq va chekka hududlarda qo‘llaniladi, batareya bilan ishlaydigan sensorlarni 2–5 yil davomida samarali ishlashini ta’minlaydi. **GSM** esa zaxira ulanish va masofadan boshqarish imkoniyatlarini taqdim etadi, ayniqsa Wi-Fi yoki LoRa infratuzilmasi to‘liq qamrab olmagan hududlarda qimmatli hisoblanadi. Ushbu gibrid arxitektura bir nechta aloqa texnologiyalarining uzluksiz migratsiyasi va birgalikda ishlashini ta’minlab, infratuzilma bosqichma-bosqich yangilanishi jarayonlariga moslashadi.

2.4 Ma’lumotlar oqimi va qayta ishlash

Noravshan sensor ma’lumotlari ko‘p bosqichli qayta ishlashdan o‘tadi:

1. **Ma’lumotlarni qabul qilish (Data Ingestion)** — sensorlar tanlangan protokol orqali har 15 daqiqada o‘lchovlarni uzatadi.

2. **Validatsiya (Validation)** — edge processing qatlami statistik usullar yordamida diapazonni tekshirish va noodatiy (anomal) qiymatlarni aniqlashni amalga oshiradi.

3. **Birlashtirish (Fusion)** — ko‘p sensorli o‘lchovlar sensor aniqlik spetsifikatsiyalariga moslashtirilgan vaznli o‘rtacha algoritmlar yordamida agregatsiya qilinadi.

4. **Saqlash (Storage)** — validatsiyadan o‘tgan ma’lumotlar vaqt qatorlari uchun optimallashtirilgan InfluxDB ma’lumotlar bazasida saqlanadi.

5. **Tahlil (Analysis)** — bulut platformasi anomaliyani aniqlash, trend tahlili va prognoz algoritmlarini bajaradi.

Barcha qayta ishlash jarayonlari muvofiqlik va nosozliklarni bartaraf etish uchun audit izlari va versiyalash ma’lumotlarini saqlaydi.

3. NATIJALAR

3.1 Dasturiy ta’minotni amaliyotga joriy etish va samaradorligi

Tizim turli geografik kontekstlarda joylashgan uchta amaldagi suv omborida joriy etildi:

Shahar hududi (350,000 m³ sig‘im, Wi-Fi mavjud)

ISSN 3030-3907

Qishloq hududi (150,000 m³ sig‘im, LoRa joriy etilgan)

Masofaviy hudud (80,000 m³ sig‘im, GSM asosiy, LoRa zaxira sifatida)

Joriy etish davri: 12 oy davomida uzluksiz ishlash davomiyligini taminlay olishi hisoblanadi.

3-Jadval

Ko‘rsatkich	Shahar hududi	Qishloq hududi	Uzoq/chekka hudud
O‘lchov aniqligi	±1.8 sm	±2.1 sm	±2.3 sm
Ma’lumot uzatish kechikishi	3.2 soniya	8.7 soniya	4.5 soniya
Ishlash davomiyligi (uptime)	99.7%	98.4%	97.2%
Sensor batareya muddati	~1.8 yil	~4.2 yil	~3.8 yil

Natijalar turli geografik kontekstlarida o‘lchov aniqligining izchil saqlanganini ko‘rsatdi, eng yuqori aniqlik bir nechta sensor ortiqchaligi (redundancy) qo‘llanilgan shahar sharoitida erishildi. Ma’lumot uzatish kechikishi operativ boshqaruv uchun maqbul chegaralarda qoldi. Qishloq hududlaridagi LoRa joriy etilishi esa kutilganidek biroz pasayishni ko‘rsatdi, chunki protokol dizaynida javob tezligidan ko‘ra masofa va energiya samaradorligiga ustuvorlik berilgan.

3.2 Iqtisodiy ta’sirni baholash

Tizimni joriy etish sezilarli operatsion yaxshilanishlarga olib keldi:

1. **Suv yo‘qotilishini oldini olish** — ruxsatsiz suv olish va sizib chiqish anomaliyalarini erta aniqlash orqali hisobga olinmagan suv (UFW) 42% ga kamaydi.
2. **Qo‘lda tekshiruvni bekor qilish** — kundalik monitoring 100% avtomatlashtirildi, natijada har bir inshootda 1,2 FTE xodim texnik xizmat faoliyatiga yo‘naltirildi.
3. **Energiya optimallashtirish** — suv ombori prognozlash modellari orqali nasos sikllari kamaytirildi, energiya iste’moli 18% ga qisqardi.
4. **Kapital xarajatlar** — 350,000 m³ sig‘imli har bir inshoot uchun taxminan $45,000 (boshlang‘ich joriy etish, o‘rnatish mehnati bilan birga).
5. **Operatsion xarajatlar** — har bir inshoot uchun yiliga taxminan $3,200 (texnik xizmat va bulutli xizmatlar uchun).

Investitsiya qaytish muddati: faqat suv yo‘qotilishini kamaytirish hisobiga tipik shahar inshooti uchun 2,8 yil.

4. MUHOKAMA.

ISSN 3030-3907

Natijalarimiz shuni ko‘rsatadiki, integratsiyalashgan IoT sensor tarmoqlari va gibrid aloqa protokollari suv resurslarini monitoring qilishda ishlab chiqarishga tayyor, yetuk yondashuvni ifodalaydi. Turli geografik kontekstlarida o‘rtacha 98,5% aniqlik darajasi an’anaviy qo‘lda monitoring qilish imkoniyatlaridan yuqori bo‘lib, yetarli darajada miqyoslashuvni ta’minladi.

Ko‘p-sensorli yondashuv ekologik o‘zgarishlarni boshqarishda ayniqsa qimmatli bo‘ldi. Shahar hududidagi natijalar nazorat qilinadigan muhit va keng ulanish imkoniyatlari tufayli laboratoriya sharoitlariga teng o‘lchovlarni taqdim etdi. Qishloq hududidagi **LoRa** joriy etilishi uzoq masofali protokollar past tarmoqli kengligiga qaramay o‘lchov yaxlitligini saqlab qolishini ko‘rsatdi, bu infratuzilma cheklangan hududlar uchun yondashuvni tasdiqlaydi. Masofaviy hududdagi **GSM** joriy etilishi samarali zaxira mexanizmi sifatida xizmat qildi, biroq yuqori kechikish bilan, shu bilan birga **LoRa** muhim o‘lchovlar uchun qo‘shimcha yo‘l sifatida ishladi.

Iqtisodiy samaradorlik faqat suv yo‘qotilishini kamaytirish bilan cheklanmaydi. Uzluksiz monitoring asosida amalga oshirilgan prognozlash analitikasi ma’lumotlar tarkibidagi yashirin qonuniyatlar va takrorlanuvchi tendensiyalarni aniqlash imkonini berdi — mavsumiy o‘zgarishlar sig‘imni moslashtirishni talab qiladi, nasoslarni halokatli nosozlikdan oldin texnik xizmat ko‘rsatish zarurati aniqlanadi, optimal taqsimlash vaqti belgilandi. Ushbu yangi imkoniyatlar kelajakda AI asosidagi resurslarni optimallashtirish uchun poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

Amaldagi ishning cheklovlari quyidagilardan iborat:

1. 12 oylik pilot davri ko‘p yillik sensor barqarorligini baholash uchun yetarli emas;
2. Uchta obyekt geografik namunani cheklaydi, bu esa iqlim o‘zgarishini tahlil qilish imkoniyatini toraytiradi;
3. Algoritm ishlab chiqish tezkor boshqaruvga qaratilgan bo‘lib, prognozlashga emas;
4. Kiberxavfsizlik masalalari hozircha dastlabki bosqichda, xavfsiz IoT shlyuzlari bo‘yicha tavsiyalar kelajakdagi ishga qoldirilgan.

5. XULOSA.

Ushbu keng qamrovli tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, bir nechta sensor modalliklarini moslashuvchan aloqa protokollari bilan birlashtirgan gibrid IoT suv monitoring tizimlari suv resurslarini boshqarishdagi muammolarni hal qilish uchun amaliy va iqtisodiy jihatdan samarali yechimlarni taqdim etadi. Uchta inshoot bo‘ylab taxminan 250 ta sensorni joriy etish qo‘lda tekshiruv orqali ilgari imkonsiz bo‘lgan 24/7 monitoring imkoniyatini yaratdi. Suvni tejash, operatsion samaradorlik va texnik xizmatni optimallashtirishdagi o‘lchangan yaxshilanishlar

ISSN 3030-3907

shahar va qishloq suv infratuzilma tarmoqlari bo‘ylab tezkor kengaytirishni oqlaydi.

Kelajakdagi tadqiqotlar quyidagilarga qaratilishi lozim:

1. **Iste’molni prognozlash modellari** — mashinaviy o‘rganish asosida suv iste’molini oldindan bashorat qilish.
2. **Kiberxavfsizlik arxitekturasini kuchaytirish** — muhim infratuzilmani himoya qilish uchun.
3. **Ob-havo asosidagi anomaliyani aniqlash** — mavsumiy va iqlimiy o‘zgarishlarni monitoring qilish.
4. **Avtomatlashtirilgan talabga javob mexanizmlari** — eng yuqori davrlarni boshqarish uchun.

Global miqyosda iqlim o‘zgarishi suv tanqisligi bosimini kuchaytirar ekan, miqyoslanadigan IoT monitoring infratuzilmasi barqaror rivojlanish maqsadlarini qo‘llab-quvvatlay oladigan chidamli suv tizimlarining ajralmas qismi sifatida namoyon bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Wister, M. A.; Leon, E.; Carrillo, A.; et al. Using IoT for Cistern and Water Tank Level Monitoring. *Applied System Innovation* 2024, 7(1), 45. https://doi.org/10.3390/asi7010045
2. UN-Water. *Water and Sanitation*. United Nations, 2023. Available online: https://www.unwater.org/ (accessed May 2024).
3. Sharma, R.; Kumar, P.; Singh, A. IoT-Based Smart Water Management Systems: A Comprehensive Review. *Journal of Water Resources Management* 2023, 37(4), 1425–1445.
4. Chen, L.; Wu, Y.; Zhang, M. LoRaWAN Performance Analysis in Urban and Rural Deployments. *IEEE Internet of Things Journal* 2023, 10(8), 7234–7249.
5. Oladele, T. O.; Adekunle, B. J.; Akinsanya, O. R. MQTT Protocol for IoT Applications: Performance and Challenges. *International Journal of Computer Applications* 2023, 185(29), 1–12.
6. European Commission. *Water Scarcity and Drought in the European Union*. Technical Report EUR 28770 EN; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2017.
7. Sundmaeker, H.; Guillemin, P.; Friess, P.; Woelfflé, S. *Vision and Challenges for Realising the Internet of Things*. European Commission Information Society and Media, 2010.
8. Singh, R.; Walingo, D. Smart Water Quality Monitoring with IoT Wireless Sensor Networks. *Water and Environment Journal* 2024, 38(2), 215–229.

ISSN 3030-3907

9. Saidov, A. A.; Raximberdiyev, S. A.; Raximov, G. K.; Nuraddin, S. IoT and Artificial Intelligence-Based Systematic Analysis of Water Resource Monitoring and Management. *Development Of Science* 2026, 4(4).
10. Zhang, Y.; Li, H.; Wang, J. Sensor Fusion Algorithms for Environmental Monitoring. *IEEE Access* 2022, 10, 112345–112356.
11. Kumar, S.; Verma, A.; Gupta, P. Time-Series Databases for IoT Applications: A Case Study on InfluxDB. *Future Internet* 2023, 15(3), 95.
12. World Bank. *Water Scarcity and Sustainable Development*. Washington, DC, 2022.
13. Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M.; Ayyash, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 2015, 17(4), 2347–2376.
14. FAO. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 2021.
15. Ahmed, N.; De, D.; Hussain, I. Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas. *IEEE Internet of Things Journal* 2018, 5(6), 4890–4899.
16. Li, X.; Zhou, Y.; Chen, Z. Cybersecurity Challenges in IoT-Based Water Infrastructure. *Computers & Security* 2023, 124, 103027.
17. United Nations. *Sustainable Development Goal 6: Ensure Availability and Sustainable Management of Water and Sanitation for All*. United Nations, 2020.
18. Choi, J.; Park, S.; Kim, H. Predictive Analytics for Water Resource Management Using Machine Learning. *Journal of Hydrology* 2024, 628, 130–145.

ISSN 3030-3907