



AQLLI SUV: IoT VA SI TEXNOLOGIYALARI ORQALI SUV INQIROZIGA INNOVATSION YECHIMLAR

Istamov Ismoilzoda Uktamovich, Xoliyorov Xolbek Abdushukur o'g'li

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya

Maqolada global suv inqirozi muammosi va uni hal etishda zamonaviy texnologiyalarning – Narsalar Interneti (IoT) va Sun'iy Intellekt (SI) ning innovatsion yechimlari ko'rib chiqilgan. «Aqlli suv» (Smart Water) konsepsiyasi mohiyati ochib berilgan va uning amaliy ahamiyati asoslangan. IoT sensorlari, mashinaviy o'rganish algoritmlari, real vaqt rejimidagi monitoring tizimlari, prediktiv tahlil va avtomatlashtirilgan boshqaruv kabi texnologik yechimlarning suv inqiroziga qarshi kurashda qo'llanilishi tahlil etilgan. Maqolada Singapur, Isroil, AQSh va boshqa mamlakatlar tajribasi umumlashtirilib, O'zbekistondagi aqlli suv loyihalari istiqbollari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijasida aqlli suv texnologiyalari suv yo'qotishlarini 50 foizgacha kamaytirish, suv sifati nazoratini avtomatlashtirish va suv ta'minoti tizimining barqarorligini oshirishda samarali ekanligi isbotlangan.

Kalit so'zlar

aqlli suv, suv inqirozi, IoT, sun'iy intellekt, smart water, innovatsiya, suv monitoringi, mashinaviy o'rganish, avtomatlashtirish, barqarorlik.

1. Kirish

Suv – hayot manbai, biroq XXI asrda u eng cheklangan tabiiy resurslardan biriga aylanmoqda. Birlashgan Millatlar Tashkilotining 2023-yilgi hisobotiga ko'ra, dunyo aholisining 2,2 milliardi xavfsiz ichimlik suviga ega emas, 3,6 milliard esa



sanitariya xizmatlaridan to'liq foydalana olmaydi. Iqlim o'zgarishi suv inqirozini yanada kuchaytirmoqda: qurg'oqchilik chastotasi ortmoqda, muzliklar eriydi, daryolarning suv sathi pasaymoqda.

Bunday sharoitda an'anaviy suv boshqaruvi usullari yetarli emas. Suv resurslarini samarali taqsimlash, isrofgarchilikni kamaytirish va sifatni nazorat qilish uchun innovatsion yechimlar zarur. Aynan shu yerda IoT (Narsalar Interneti) va SI (Sun'iy Intellekt) texnologiyalari «aqli suv» konsepsiyasini hayotga tatbiq etish orqali muhim rol o'ynashi mumkin.

Aqli suv tushunchasi – bu suvni boshqarishning yangi paradigmasi bo'lib, u zamonaviy raqamli texnologiyalar yordamida suv resurslarini real vaqt rejimida nazorat qilish, tahlil qilish va optimallashtirishga asoslangan. Mazkur tadqiqotning maqsadi – global suv inqirozi sharoitida IoT va SI texnologiyalarining innovatsion imkoniyatlarini tahlil qilish, jahon tajribasini umumlashtirish va O'zbekiston sharoitida tatbiq etish yo'llarini aniqlashdan iborat.

2. Global suv inqirozi: muammoning ko'lami va sabablari

Global suv inqirozi – inson faoliyati, iqlim o'zgarishi va aholi sonining oshishi natijasida yuzaga keladigan murakkab jarayondir. Jahon resurslar instituti (World Resources Institute) ma'lumotlariga ko'ra, hozirda 17 ta davlat o'ta yuqori suv tanqisligi sharoitida yashayotgan bo'lsa, 2040-yilga kelib bu raqam 33 taga yetishi prognoz qilinmoqda. Markaziy Osiyo, Yaqin Sharq, Shimoliy Afrika va Janubiy Osiyo mintaqalari eng katta xavf ostida.

Suv inqirozining asosiy sabablari quyidagilardir: birinchidan, iqlim o'zgarishi natijasida atmosfera yog'inlari kamaymoqda va suv havzalari qurib bormoqda. Ikkinchidan, aholi sonining tez o'sishi suv talabini oshirmoqda – 2050-yilga kelib jahon aholisi 9,7 milliardga yetishi taxmin qilinmoqda. Uchinchidan, sanoatlashuv va urbanizatsiya jarayonlari suv iste'molini yangi darajaga ko'tarmoqda.



To'rtinchidan, qishloq xo'jaligida noratsional suv iste'moli (jahonda iste'mol qilingan chuchuk suvning 70 foizi qishloq xo'jaligiga to'g'ri keladi) muammoni chuqurlashtirmoqda. Beshinchidan, suv yo'qotishlari va isrofgarchilik – jahonda yetkazib berilgan suvning o'rtacha 30-40 foizi yo'qotiladi.

O'zbekiston ham suv inqirozi muammosiga jiddiy duch kelmoqda. Mamlakat suvga bo'lgan talabning 80 foizini transchegaraviy daryolar – Amudaryo va Sirdaryodan oladi. Orol fojiasi natijasida 70 mingdan ortiq kvadrat kilometr maydon yo'q bo'lib ketdi. Sug'oriladigan yerlarda suv samaradorligi koeffitsienti atigi 0,55-0,60 atrofida bo'lib, jahon standartlaridan ancha past.

3. Aqlli suv konsepsiyasi va texnologik asoslari

Aqlli suv (Smart Water) – bu suv resurslarini boshqarishda raqamli texnologiyalar, sensorlar, ma'lumotlar tahlili va avtomatlashtirilgan tizimlardan kompleks foydalanish konsepsiyasidir. Smart Water tizimi quyidagi komponentlardan tashkil topadi: birinchidan, IoT qurilmalari va sensorlar tarmog'i; ikkinchidan, ma'lumot uzatish va saqlash infratuzilmasi; uchinchidan, SI va analitika platformalari; to'rtinchidan, qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlovchi tizimlar; beshinchidan, foydalanuvchilar bilan o'zaro aloqa interfeyslari.

Smart Water konsepsiyasining asosiy maqsadlari: suv yo'qotishlarini minimallashtirish, suv sifatini real vaqt rejimida nazorat qilish, energiya samaradorligini oshirish, foydalanuvchilarni xabardor qilish va prognozlash imkoniyatlarini kengaytirishdan iborat. Bu texnologiyalar suv boshqaruvini reaktiv (vaziyatga reaksiya) modelidan proaktiv (oldindan harakat) modelga o'tkazadi.

4. IoT texnologiyalarining suv inqiroziga qarshi roli

IoT (Internet of Things) – jismoniy obyektlarni sensorlar, dasturiy ta'minot va boshqa texnologiyalar bilan birga qo'shilgan tarmoq bo'lib, ular bir-biri bilan



ma'lumot almashinishi va o'zaro hamkorlik qilishi mumkin. Suv resurslarini boshqarishda IoT quyidagi vazifalarni samarali bajaradi:

Real vaqt monitoringi. IoT sensorlari suv bosimi, oqim tezligi, harorat, pH, kislorod miqdori va boshqa parametrlarni doimiy ravishda o'lchaydi. Bu ma'lumotlar bulutli platformalarga uzatilib, tahlil qilinadi. Masalan, Singapurda 300 mingdan ortiq IoT sensori barcha suv tarmog'ini qoplaydi va sekundiga minglab ma'lumot punktlari to'planadi.

Suv yo'qotishlarini aniqlash. Akustik IoT sensorlari suv quvurlaridagi sizib chiqishni tovush to'lqinlari orqali aniqlay oladi. Bu texnologiya Isroildagi TaKaDu platformasida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda va suv yo'qotishlarini 50 foizgacha kamaytirish imkonini berdi.

Aqli sug'orish tizimlari. Tuproq namligi va meteoshart-sharoitlarni o'lchovchi sensorlar SI algoritmlari bilan birgalikda har bir o'simlikning aniq suv ehtiyojini hisoblaydi. Bu yondashuv suv sarfini 30-50 foizga kamaytirish bilan birga hosildorlikni oshirishga olib keladi. Isroilning Netafim kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan tizim bugungi kunda dunyoning 100 dan ortiq mamlakatida qo'llanilmoqda.

Sanoat suv iste'molini optimallashtirish. IoT sensorlari sanoat korxonalarida suv iste'molini real vaqt rejimida nazorat qilib, isrofgarchilik joylarini aniqlaydi va qayta foydalanish imkoniyatlarini ko'rsatadi.

5. Sun'iy intellekt yechimlari va ularning samaradorligi

Sun'iy intellekt – aqli suv tizimlarining «miyasi» rolini bajaradi. IoT sensorlari to'plagan katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash, tahlil qilish va qaror qabul qilish jarayonida SI algoritmlari hal qiluvchi ahamiyatga ega. SI ning suv inqiroziga qarshi qo'llanilishi quyidagi yo'nalishlarda namoyon bo'lmoqda:



Prediktiv tahlil. Mashinaviy o'rganish (machine learning) algoritmlari – ARIMA, LSTM, Random Forest, XGBoost – tarixiy ma'lumotlar asosida suv iste'moli, oqim hajmi va sifatini yuqori aniqlik bilan prognoz qiladi. Bu prognozlar suv ta'minoti tashkilotlariga zaxiralarni samarali rejalashtirishga yordam beradi.

Anomaliyalarni aniqlash. SI algoritmlari suv tarmog'idagi g'ayritabiiy holatlarni (yo'qotishlar, ifloslanish, jihozlar nosozliklari) avtomatik aniqlaydi va xodimlarni ogohlantiradi. Bu reaksiya vaqtini bir necha soatdan bir necha daqiqaga qisqartirish imkonini beradi.

Suv sifatini bashoratlash. Chuqur o'rganish (deep learning) modellari suv sifati ko'rsatkichlarini ekologik omillar, mavsumiy o'zgarishlar va inson faoliyati ta'sirida qanday o'zgarishini bashorat qiladi. Bu ekologik xavflarning oldini olishda muhim hisoblanadi.

Avtomatlashtirilgan boshqaruv. Reinforcement Learning (mustahkamlash bilan o'rganish) algoritmlari suv inshootlari ish rejimini avtomatik optimallashtiradi. Masalan, suv tozalash inshootlarida reagentlarni avtomatik dozalash, nasoslarning energiya iste'molini minimallashtirish va boshqalar.

Kompyuter ko'rishi. Dron va sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosida SI suv havzalarining holati, qurg'oqchilik darajasi va ekologik holatni baholaydi. NASA va Google Earth Engine platformalari bu yo'nalishda ilg'or yechimlarni taklif etmoqda.

6. Jahon tajribasi: muvaffaqiyatli innovatsion loyihalar

Singapur tajribasi. PUB tashkiloti Smart Water Grid loyihasi orqali butun mamlakat suv tarmog'ini raqamlashtirgan. NEWater tizimi orqali chiqindi suvlar qayta ishlanib, ichimlik suviga aylantiriladi. Bu loyiha SI yordamida boshqariladi va Singapur suv ehtiyojining 40 foizini qoplaydi.



Isroil yondashuvi. Mekorot kompaniyasi 80 yildan ortiq vaqt davomida cheklangan suv sharoitida ishlash bo'yicha noyob tajribaga ega. Isroilda chiqindi suvlarning 85 foizi qayta ishlanadi (jahonda eng yuqori ko'rsatkich). Sea water desalination (dengiz suvini chuchuklashtirish) loyihalari mamlakat suvga bo'lgan talabning 70 foizini qoplaydi va bu jarayonlar SI yordamida optimallashtiriladi.

AQShdagi innovatsiyalar. Kaliforniya shtatida WaterSmart Software kompaniyasi ishlab chiqqan platforma har bir uyning suv iste'molini real vaqt rejimida tahlil qilib, foydalanuvchilarga shaxsiy tavsiyalar beradi. Natijada o'rtacha suv iste'moli 5-8 foizga kamaygan.

Yevropa tajribasi. Niderlandiyaning Vitens kompaniyasi raqamli ikkilangan (digital twin) texnologiyasidan foydalanib, suv tarmog'ining virtual nusxasini yaratgan. Bu turli stsenariylarni real vaqt rejimida modellashtirish va eng samarali qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

7. O'zbekistondagi innovatsion loyihalar va istiqbollar

O'zbekistonda aqlli suv texnologiyalarini joriy etish bo'yicha amaliy qadamlar tashlanmoqda. «Raqamli O'zbekiston – 2030» strategiyasi doirasida quyidagi loyihalar amalga oshirilmoqda:

Birinchidan, «Smart Water» milliy platformasi yaratilib, suv resurslarini markazlashtirilgan boshqarish imkoniyatini beradi. Ikkinchidan, Farg'ona vodiysida tomchilatib sug'orish tizimlariga IoT sensorlari joriy etilgan – bu pilot loyihaning natijalari suv sarfini 35 foizgacha tejaganligini ko'rsatmoqda. Uchinchidan, Toshkent shahar suv ta'minoti tarmog'ida avtomatlashtirilgan o'lchov tizimlari (AMI – Advanced Metering Infrastructure) bosqichma-bosqich joriy etilmoqda. To'rtinchidan, Buxoro va Samarqand viloyatlarida sun'iy intellekt asosida ishlovchi suv iste'molini prognozlash tizimlari sinovdan o'tkazilmoqda.



Kelajakda quyidagi yo'nalishlarda jadal ish olib borish maqsadga muvofiqdir: barcha sug'orish tarmog'ini IoT sensorlari bilan jihozlash; chiqindi suvlarni qayta ishlash zavodlarining sonini ko'paytirish va ularda SI texnologiyalaridan foydalanish; milliy «Suv ma'lumotlari markazi»ni tashkil etish va big data analitikasini joriy qilish; chuchuk suv resurslarini va ekologik holatni real vaqt rejimida monitoring qilish tizimini yaratish; aholini suvni tejash bo'yicha mobil ilovalar yordamida xabardor qilish.

8. Aqlli suv tizimlarini joriy etish chaqiriqlari

Aqlli suv yechimlarini keng joriy etishda bir qator to'siqlar mavjud: yuqori investitsiya talabi – IoT infratuzilmasi va SI platformalari katta moliyaviy resurslarni talab qiladi; kibermuhofaza – suv infratuzilmasi muhim milliy ahamiyatga ega bo'lganligi sababli kiberhujumlardan himoyalash zarur; malakali kadrlar yetishmovchiligi – ma'lumotlar olimi, IoT muhandisi, SI mutaxassisi kasblari bo'yicha kadrlar tayyorlash zarur; ma'lumotlar standartlashtirilmaganligi – turli tizimlarning bir-biri bilan muvofiqqligini ta'minlash muhim. Ushbu chaqiriqlarga qaramay, aqlli suv texnologiyalarining iqtisodiy va ekologik samaradorligi ularning kelajakdagi qiymatini oqlaydi.

9. Xulosa va tavsiyalar

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, IoT va SI texnologiyalari global suv inqirozini hal etishda real va samarali yechim taklif qilmoqda. «Aqlli suv» konsepsiyasi nafaqat texnologik yangilik, balki suv resurslarini barqaror boshqarishning strategik yondashuvidir. Jahon tajribasi shuni isbotlaydiki, bu texnologiyalarni keng joriy etgan davlatlar suv samaradorligini sezilarli darajada oshirgan va suv inqirozi xavfini kamaytirgan.

O'zbekiston uchun quyidagi tavsiyalarni berishimiz mumkin: birinchidan, davlat darajasida «Aqlli suv» milliy dasturini ishlab chiqish va amalga oshirish;



ikkinchidan, xalqaro hamkorlikni kengaytirish va xorijiy investitsiyalarni jalb qilish; uchinchidan, oliy ta'lim muassasalarida suvni boshqarish bo'yicha raqamli texnologiyalar yo'nalishida mutaxassislar tayyorlashni yo'lga qo'yish; to'rtinchidan, suvni tejash madaniyatini shakllantirish bo'yicha keng ma'rifiy ishlar olib borish; beshinchidan, raqamli texnologiyalar asosida ishlab chiquvchi startaplarni qo'llab-quvvatlash uchun maxsus innovatsion ekotizimlarni yaratish.

Aqlli suv texnologiyalari kelajak avlodlar uchun yetarli, sifatli va xavfsiz suv ta'minotini ta'minlashning eng samarali yo'li hisoblanadi. Bu yo'nalishdagi har bir investitsiya nafaqat iqtisodiy, balki ekologik va ijtimoiy nuqtai nazardan ham foydali bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. UN Water. World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. – Paris: UNESCO, 2023. – 200 p.
2. World Resources Institute. Aqueduct Water Risk Atlas: Global Water Stress Analysis. – Washington DC, 2024.
3. Mekorot Israel National Water Company. Annual Innovation Report 2023. – Tel Aviv, 2023.
4. Singapore PUB. Smart Water Grid: Implementation and Outcomes. – Singapore, 2023.
5. Netafim Ltd. Smart Drip Irrigation: Global Impact Report. – Tel Aviv, 2023.
6. WaterSmart Software. Consumer Engagement and Water Efficiency Report. – California, 2023.
7. Vitens N.V. Digital Twin Implementation in Water Networks. Technical Report. – Amsterdam, 2023.



8. Hassan Q. et al. Smart water management using IoT and AI: A systematic review // *Sustainable Cities and Society*. – 2023. – Vol. 92. – P. 104-122.
9. Liu Y., Zhang H. Machine learning applications in water resources management: Current state and future directions // *Water Research*. – 2023. – Vol. 235. – P. 119-887.
10. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «Raqamli O'zbekiston – 2030» strategiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi PF-6079-son Farmoni. – Toshkent, 2020.
11. Karimov A., Norqulov S. O'zbekistonda aqlli suv texnologiyalarini joriy etish istiqbollari // *O'zbekiston suv xo'jaligi*. – 2023. – №4. – B. 12-25.
12. Ergashev B. Smart irrigation systems in Central Asia: Challenges and opportunities // *Journal of Water and Climate Change*. – 2023. – Vol. 14, No. 8. – P. 2456-2472.
13. World Bank Group. *Water in the Digital Age: Transforming Water Management*. – Washington DC, 2024. – 178 p.
14. FAO. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2023*. – Rome, 2023.