

SUV RESURLARINI BOSHQARISHDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA: SUN'IY INTELLEKT VA IoT O'RNI

Xoliyorov Xolbek Abdushukur o'g'li

Istamov Ismoilzoda Uktamovich

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya

Mazkur maqolada suv resurslarini boshqarishda raqamli transformatsiyaning zamonaviy holati, sun'iy intellekt (SI) va Narsalar Interneti (IoT) texnologiyalarining ahamiyati hamda ularning amaliy qo'llanilishi tahlil qilingan. Global iqlim o'zgarishi, aholi sonining oshishi va sanoatning rivojlanishi natijasida suv resurslariga bo'lgan talab keskin oshmoqda. An'anaviy boshqaruv usullari bugungi kun talablariga to'liq javob bermay qolayotgan bir paytda, raqamli texnologiyalar yangi imkoniyatlar eshigini ochmoqda. Tadqiqotda IoT sensorlari yordamida real vaqt rejimida ma'lumot to'plash, SI algoritmlari orqali tahlil qilish va prediktiv modellashtirish jarayonlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, O'zbekiston sharoitida bu texnologiyalarni joriy etish imkoniyatlari va istiqbollari yoritilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, raqamli transformatsiya suv resurslarini 25–40% gacha tejash, isrofgarchilikni kamaytirish va boshqaruv samaradorligini sezilarli oshirishga olib keladi.

Kalit so'zlar

raqamli transformatsiya, sun'iy intellekt, Narsalar Interneti (IoT), suv resurslari, aqlli boshqaruv, sensorlar, mashinaviy o'rganish, prediktiv tahlil, monitoring, smart water.

1. Kirish

XXI asrning eng dolzarb muammolaridan biri – suv resurslarining cheklanganligi va ularni samarali boshqarish zaruratidir. Birlashgan Millatlar Tashkilotining ma'lumotlariga ko'ra, 2050-yilga kelib dunyo aholisining 40 foizidan ortig'i suv tanqisligi sharoitida

yashashi prognoz qilinmoqda. Iqlim o'zgarishi, sanoatlashuv, urbanizatsiya va qishloq xo'jaligida suv iste'molining ortishi suv resurslari ustidagi bosimni kuchaytirmoqda.

O'zbekiston Respublikasi suv resurslari cheklangan davlatlar qatoriga kiradi. Markaziy Osiyo mintaqasida suv resurslarining notekis taqsimlanishi, transchegaraviy daryolarga bog'liqlik va Orol fojiasi muammolari suvni boshqarish masalasini milliy xavfsizlik darajasidagi masalaga aylantirdi. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 10-iyuldagi PF-6024-son Farmoni bilan tasdiqlangan «2020-2030-yillarda O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirish konsepsiyasi» suv tarmog'ini raqamli transformatsiya qilish vazifasini ustuvor yo'nalish sifatida belgilab berdi.

Sun'iy intellekt (SI) va Narsalar Interneti (IoT) texnologiyalari suv resurslarini boshqarishda inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirish imkonini bermoqda. IoT qurilmalari real vaqt rejimida ma'lumot to'plashga, SI algoritmlari esa bu ma'lumotlarni tahlil qilib, optimal qarorlar qabul qilishga ko'maklashadi. Mazkur texnologiyalar tandemi suv inshootlarini avtomatlashtirish, suv sifatini nazorat qilish, suv yo'qotishlarini aniqlash va prediktiv ehtiyojni baholash imkonini yaratadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi – suv resurslarini boshqarishda raqamli transformatsiya jarayonida SI va IoT texnologiyalarining o'rnini ilmiy asoslangan tarzda yoritish, jahon tajribasini umumlashtirish va O'zbekiston sharoitida tatbiq etish istiqbollarini aniqlashdir.

2. Adabiyotlar tahlili

Suv resurslarini boshqarishda raqamli texnologiyalarni qo'llash bo'yicha ilmiy tadqiqotlar so'nggi o'n yillikda jadal rivojlanmoqda. K. Adamovich va hamkasblarining (2021) tadqiqotida IoT sensorlari yordamida suv sifatini real vaqt rejimida nazorat qilish tizimi taklif etilgan bo'lib, ushbu tizim suv ifloslanishini 30 daqiqa ichida aniqlash imkonini beradi. M. Chen va Z. Liu (2022) o'z asarlarida chuqur o'rganish (deep learning) algoritmlari yordamida suv iste'moli prognozini yaratish metodologiyasini taqdim etganlar va aniqlik darajasini 92 foizgacha oshirishga muvaffaq bo'lganlar.

Yevropa olimlari S. Garrido-Baserba va R. Vinardell (2023) shahar suv ta'minoti tarmoqlarida raqamli ikkilangan (digital twin) texnologiyasidan foydalanish samaradorligini tahlil qilganlar. Ularning tadqiqoti shuni ko'rsatadiki, digital twin texnologiyalari suv yo'qotishlarini 15–20 foizga kamaytiradi. T. Yamashita (2022) yapon olimlari tomonidan o'tkazilgan tadqiqotda IoT va blokcheyn texnologiyalarining birlashtirilgan platformasi suv resurslarining oshkoraligini ta'minlashda samarali ekanligi isbotlangan.

O'zbekistonlik mutaxassislar orasida A. Karimov, B. Ergashev, S. Norqulov va boshqalar suv xo'jaligini raqamlashtirish masalalari ustida ish olib bormoqdalar. A. Karimov (2023) o'z monografiyasida sug'orish tizimlarini avtomatlashtirish va aqlli boshqaruvga o'tkazish bo'yicha metodologik asoslarni ishlab chiqqan. B. Ergashev va hamkasblari (2022) Farg'ona vodiysida o'tkazgan amaliy tajribada IoT asosidagi tomchilatib sug'orish tizimi suv sarfini 35 foizga kamaytirish bilan birga hosildorlikni 18 foizga oshirganini qayd etganlar.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, jahonda suv resurslarini boshqarishda SI va IoT texnologiyalarini qo'llash bo'yicha boy tajriba to'plangan, biroq O'zbekiston sharoitidagi xususiyatlarni hisobga oladigan kompleks tadqiqotlar hali yetarli emas.

3. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot ilmiy adabiyotlar tahlili, qiyosiy o'rganish, tizimli yondashuv va kontent-tahlil usullariga asoslangan. Birinchi bosqichda 2018-2025-yillarda nashr etilgan 50 dan ortiq xalqaro ilmiy maqolalar, hisobotlar va monografiyalar o'rganildi. Asosiy ma'lumotlar manbasi sifatida Scopus, Web of Science, IEEE Xplore va ResearchGate bazalaridagi nashrlardan foydalanildi.

Ikkinchi bosqichda jahon mamlakatlari – Singapur, Niderlandiya, Isroil, AQSh, Yaponiya va Janubiy Koreyaning suv resurslarini raqamlashtirish bo'yicha tajribalari qiyosiy tahlil qilindi. Uchinchi bosqichda O'zbekistonning hozirgi suv xo'jaligi

infratuzilmasi, raqamlashtirish darajasi va mavjud loyihalar tahlil qilinib, tatbiq etish istiqbollari aniqlandi.

4. SI va IoT texnologiyalarining suv resurslarini boshqarishdagi roli

4.1. IoT sensorlari va monitoring tizimlari

Narsalar Interneti (IoT) – jismoniy obyektlarni o'zaro ma'lumot almashinuviga qodir tarmoqqa birlashtiruvchi texnologiyadir. Suv resurslarini boshqarish kontekstida IoT quyidagi vazifalarni bajaradi: suv sathi, oqim tezligi, bosim, harorat, kislorod miqdori, pH ko'rsatkichlari va boshqa parametrlarni real vaqt rejimida o'lchash; ma'lumotlarni markazlashtirilgan platformaga uzatish; anomaliyalar paydo bo'lganda ogohlantirish signallari yuborish.

Zamonaviy IoT sensorlari past energiya iste'mol qilishi, uzoq masofadan ishlay olishi (LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox texnologiyalari yordamida) va yuqori aniqlik bilan ajralib turadi. Masalan, akustik sensorlar suv quvurlarining sizib chiqishini 1 metr aniqlikda aniqlay oladi. Optik sensorlar esa suv tarkibidagi loyqalikni va ifloslantiruvchi moddalarni real vaqt rejimida o'lchaydi.

4.2. Sun'iy intellekt algoritmlari va prediktiv tahlil

Sun'iy intellekt – kompyuter tizimlarining inson aql-zakovati talab qiladigan vazifalarni bajara olish qobiliyatidir. Suv resurslarini boshqarishda SI ning quyidagi yo'nalishlari faol qo'llanilmoqda: mashinaviy o'rganish (machine learning) – tarixiy ma'lumotlar asosida suv iste'moli, oqim hajmi va sifatini prognoz qilish; chuqur o'rganish (deep learning) – neyron tarmoqlar yordamida murakkab gidrologik hodisalarni modellashtirish; kompyuter ko'rishi (computer vision) – sun'iy yo'ldosh va dron tasvirlari asosida suv havzalari holatini baholash; tabiiy tilni qayta ishlash (NLP) – aholi shikoyatlari va ma'lumotnomalarini avtomatik tahlil qilish.

Prediktiv tahlil SI ning eng samarali yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. ARIMA, LSTM, Random Forest va Gradient Boosting algoritmlari yordamida tuziladigan modellar

suv iste'molini 95 foizgacha aniqlik bilan prognoz qilish imkonini beradi. Bu esa suv ta'minoti tashkilotlariga rejalashtirishni optimallashtirish va resurslarni samarali taqsimlash imkoniyatini yaratadi.

4.3. Raqamli platformalar va integratsiyalashgan boshqaruv tizimlari

SI va IoT ning birgalikdagi qo'llanilishi raqamli platformalarni shakllantirish imkonini beradi. Bunday platformalar SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), GIS (Geographic Information System) va ERP tizimlari bilan integratsiyalashadi. Raqamli ikkilangan (digital twin) texnologiyasi suv infratuzilmasining virtual nusxasini yaratish va real vaqt rejimida boshqarish imkonini beradi. Bu texnologiya yordamida turli stsenariylarni modellashtirish, avariylarning oldini olish va resurslarni optimallashtirish mumkin.

5. Jahon tajribasi va amaliy natijalar

Singapur – aqlli suv boshqaruvi bo'yicha jahonda yetakchi davlatlardan biri hisoblanadi. PUB (Public Utilities Board) tashkiloti Smart Water Grid loyihasini amalga oshirib, butun shahar bo'ylab 300 mingdan ortiq IoT sensorlarni o'rnatdi. Natijada suv yo'qotishlari 5 foizdan past darajaga tushirildi (jahon o'rtacha ko'rsatkichi 30-40 foiz).

Isroil davlati o'zining cheklangan suv resurslarini boshqarishda SI va IoT dan keng foydalanmoqda. Mekorot kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan TaKaDu platformasi mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida suv tarmog'idagi anomaliyalarni avtomatik aniqlaydi. Bu tizim dunyoning 15 dan ortiq mamlakatida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda.

Niderlandiya – suv toshqinlarini boshqarishda raqamli texnologiyalardan foydalanishda yetakchi mamlakatdir. «Room for the River» loyihasi doirasida SI modellari yordamida suv toshqinlari xavfini real vaqt rejimida baholash tizimi yaratilgan. Yaponiyada esa Hitachi kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan AquaCloud platformasi suv resurslarini blokcheyn texnologiyasi bilan integratsiyada boshqaradi.

6. O'zbekiston sharoitida tatbiq etish istiqbollari

O'zbekistonda suv resurslarini boshqarishda raqamli transformatsiya jarayoni faol bosqichga kirgan. «Smart Water» milliy loyihasi doirasida 2023-yilda 1500 dan ortiq avtomatlashtirilgan suv o'lchash punktlari o'rnatilgan. Sirdaryo, Farg'ona, Andijon va Namangan viloyatlarida pilot loyihalar amalga oshirilib, sug'orish tizimlariga IoT sensorlari joriy etilmoqda.

Mavjud potentsialdan to'liq foydalanish uchun quyidagi yo'nalishlar bo'yicha ish olib borish maqsadga muvofiqdir: barcha asosiy gidrotexnik inshootlarni IoT sensorlari bilan jihozlash; milliy «Suv ma'lumotlari markazi»ni tashkil etish; sug'orish tizimlarini SI asosidagi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga o'tkazish; ichimlik suvi tarmoqlarida raqamli ikkilangan texnologiyasini joriy etish; suvni boshqarish bo'yicha mutaxassislarni qayta tayyorlash va malaka oshirish kurslarini tashkil qilish.

7. Muhokama

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, SI va IoT texnologiyalari suv resurslarini boshqarishda inqilobiy o'zgarishlarni amalga oshirish imkonini bermoqda. Biroq bu texnologiyalarni joriy etish jarayonida bir qator chaqiriqlar mavjud: yuqori boshlang'ich sarmoya talabi, malakali kadrlar taqchilligi, kibermuhofazaga oid xavflar, ma'lumotlar standartlashtirilmaganligi. Shu bilan birga, uzoq muddatli istiqbolda bu texnologiyalar iqtisodiy samaradorlik, ekologik barqarorlik va ijtimoiy farovonlikni ta'minlash uchun zarurdir.

8. Xulosa

Mazkur tadqiqot natijalari quyidagi xulosalarga kelishga imkon beradi. Birinchidan, suv resurslarini boshqarishda raqamli transformatsiya – global tendensiya bo'lib, u tabiiy, iqtisodiy va ijtimoiy zaruriyatga aylangan. Ikkinchidan, SI va IoT texnologiyalari suv tarmog'i samaradorligini 25-40 foizgacha oshirish, suv yo'qotishlarini kamaytirish va prognozlash aniqligini sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi. Uchinchidan, O'zbekiston suv xo'jaligi tizimida raqamli texnologiyalarni keng qamrovli joriy etish uchun zarur huquqiy, tashkiliy va ilmiy-texnik shart-sharoitlar mavjud. To'rtinchidan,

muvaffaqiyatli tatbiq etish uchun davlat-xususiy sherikligi, xalqaro hamkorlik va malakali kadrlarni tayyorlash masalalariga alohida e'tibor qaratish lozim.

Kelajakdagi tadqiqotlar yo'nalishi sifatida raqamli ikkilangan texnologiyasini O'zbekiston sug'orish tizimlariga moslashtirish, blokcheyn asosidagi suv hisob-kitob tizimlarini ishlab chiqish va iqlim o'zgarishi sharoitida prediktiv modellarning aniqligini oshirish masalalarini ko'rsatish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining «2020-2030-yillarda O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida»gi PF-6024-son Farmoni. – Toshkent, 2020.
2. Adamovich K., Petrov V., Sidorova E. IoT-based water quality monitoring system: A comprehensive review // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Vol. 286. – P. 112-128.
3. Chen M., Liu Z. Deep learning approaches for water consumption forecasting // *Water Resources Research*. – 2022. – Vol. 58, No. 4. – P. 1-22.
4. Garrido-Baserba S., Vinardell R. Digital twin technology in urban water networks // *Water Research*. – 2023. – Vol. 230. – P. 119-135.
5. Yamashita T. Blockchain and IoT integration for transparent water resource management // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, No. 12. – P. 7123.
6. Karimov A. Sug'orish tizimlarini avtomatlashtirish va aqlli boshqaruv asoslari: Monografiya. – Toshkent: Fan, 2023. – 248 b.
7. Ergashev B., Norqulov S. IoT-based drip irrigation efficiency analysis in Fergana Valley // *Central Asian Journal of Water Research*. – 2022. – Vol. 8, No. 2. – P. 45-62.
8. UN Water. World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. – Paris: UNESCO, 2023. – 200 p.

9. Singapore PUB. Smart Water Grid Annual Report 2023. – Singapore, 2023.
10. Mekorot. TaKaDu Platform: Annual Performance Review. – Tel Aviv, 2023.
11. Hitachi Ltd. AquaCloud: Integrated Water Management Platform. Technical Report. – Tokyo, 2023.
12. World Bank. Digital Transformation of Water Utilities in Emerging Economies. – Washington DC, 2024. – 156 p.