

IQLIM O‘ZGARISHI SHAROITIDA SUV RESURLARINI BOSHQARISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR

Xidirova Zulxumor Uralovna

Qarshi davlat texnika universiteti katta o‘qituvchisi

Bozorova Shahrizoda Abdirahmon qizi

Qarshi davlat texnika universiteti 4-kurs talabasi

Annotatsiya. Maqolada iqlim o‘zgarishi sharoitida suv resurslarini boshqarishning dolzarb muammolari va ularni yumshatishda raqamli texnologiyalarning imkoniyatlari tahlil qilinadi. IoT sensorlari, masofadan zondlash, geografik axborot tizimlari (GIS), sun’iy intellekt, katta ma’lumotlar va avtomatlashtirilgan sug‘orish yechimlarining suv sarfini hisobga olish, yo‘qotishlarni aniqlash, suv taqsimotini rejalashtirish hamda qurg‘oqchilik xavfini baholashdagi vazifalari yoritiladi. Tadqiqot adabiyotlar sharhi va xalqaro tashkilotlar hisobotlarining qiyosiy tahliliga asoslangan. O‘zbekiston sharoitida irrigatsiya infratuzilmasini modernizatsiya qilish, suv hisobini raqamlashtirish, ma’lumotlar almashinuvi va texnik salohiyatni rivojlantirish ustuvor yo‘nalishlar sifatida ko‘rsatiladi. Maqolada raqamli yechimlarning samarasi mahalliy sharoit, boshqaruv sifati va ma’lumotlarning ishonchliligiga bog‘liqligi ta’kidlanadi.

Kalit so‘zlar: iqlim o‘zgarishi, suv resurslari, raqamlashtirish, IoT, masofadan zondlash, sun’iy intellekt, aqlli sug‘orish, suv hisobi, O‘zbekiston.

Abstract. This article reviews the challenges of water-resource management under climate change and the potential contribution of digital technologies. It discusses IoT sensors, remote sensing, geographic information systems, artificial intelligence, big-data analytics and automated irrigation for water accounting, leak detection, allocation planning and drought-risk assessment. The study uses a literature review and comparative analysis of international reports. For Uzbekistan, priority actions include modernizing irrigation infrastructure, digital water accounting, improving data interoperability and strengthening technical capacity. The article emphasizes that outcomes depend on local conditions, governance and data quality.

Keywords: climate change, water resources, digitalization, IoT, remote sensing, artificial intelligence, smart irrigation, water accounting, Uzbekistan.

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы управления водными ресурсами в условиях изменения климата и возможности цифровых технологий. Анализируются датчики IoT, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, искусственный интеллект, большие данные и автоматизированное орошение для учёта воды, выявления потерь, планирования распределения и оценки риска засухи. Работа основана на обзоре литературы и сравнительном анализе международных докладов. Для Узбекистана приоритетными направлениями определены модернизация ирригационной инфраструктуры, цифровой учёт воды, совместимость данных и развитие технического потенциала.

Ключевые слова: изменение климата, водные ресурсы, цифровизация, IoT, дистанционное зондирование, искусственный интеллект, умное орошение, Узбекистан.

1. Kirish

Iqlim o'zgarishi suv aylanishining intensivligi va mavsumiy taqsimotiga ta'sir ko'rsatib, ayrim hududlarda qurg'oqchilik, boshqa hududlarda esa kuchli yog'in va toshqinlar xavfini oshiradi. IPCC baholashlariga ko'ra, isish davom etishi bilan suv aylanishidagi o'zgaruvchanlik va ekstremal gidrologik hodisalar kuchayishi mumkin [1]. Shu sababli suvni boshqarish faqat mavjud resurs hajmini hisoblash bilan cheklanmay, talabni prognozlash, xavflarni oldindan aniqlash va suvdan foydalanish samaradorligini oshirishni ham qamrab olishi lozim.

Suv xavfsizligi oziq-ovqat ishlab chiqarish, aholi salomatligi, energetika va ekotizimlar barqarorligi bilan bevosita bog'liq. BMTning Jahon suv resurslari bo'yicha 2024-yilgi hisobotida suvdan foydalanish, boshqaruv va hamkorlik masalalari barqaror taraqqiyotning muhim sharti sifatida ko'riladi [2]. An'anaviy boshqaruv tizimlarida o'lchovlarning kamligi, ma'lumotlarning kechikib kelishi, kanallar va quvurlardagi yo'qotishlar hamda suv taqsimotidagi nomutanosiblik qarorlar sifatini pasaytirishi mumkin.

Raqamli texnologiyalar ushbu muammolarni hal qilish uchun real vaqtga yaqin ma'lumotlarni yig'ish va tahlil qilish imkonini beradi. Biroq texnologiya o'z-o'zidan suv tejashni kafolatlamaydi: natija sensorlarning aniqligi, kalibrlash, aloqa qamrovi, texnik xizmat, foydalanuvchilarning malakasi va suvni taqsimlash qoidalariga bog'liq. Ushbu maqolaning maqsadi iqlim o'zgarishi sharoitida suv boshqaruvida qo'llanadigan raqamli yechimlarni tizimlashtirish hamda ularni O'zbekiston sharoitida tatbiq etish bo'yicha amaliy yo'nalishlarni asoslashdan iborat.

2. Materiallar va metodlar

Maqola sharh-tahliliy tadqiqot sifatida tayyorlandi. Asosiy manbalar sifatida IPCCning iqlim va suv aylanishiga oid baholashlari, UNESCOning Jahon suv resurslari hisoboti, Jahon bankining O'zbekiston bo'yicha iqlim va irrigatsiya materiallari hamda qishloq xo'jaligida raqamli texnologiyalarni ko'rib chiqqan ilmiy sharhlar olindi [1–6]. Manbalar uch yo'nalishda qiyoslandi: (1) iqlim xavflari va suv boshqaruvi talablari; (2) raqamli texnologiyalarning funksiyalari; (3) joriy etishdagi tashkiliy, iqtisodiy va texnik to'siqlar.

Bu ishda yangi dala tajribasi yoki mualliflar tomonidan o'lchangan suv tejash ko'rsatkichlari keltirilmagan. Shu bois natijalar eksperimental sinov natijasi emas, balki ochiq ilmiy va institutsional manbalardan chiqarilgan tahliliy xulosalardir. Raqamli sug'orish samarasi haqidagi foizlar faqat tegishli manbada berilgan holatlarda va muayyan tajriba sharoitiga tegishli ekanini hisobga olib talqin qilinishi kerak.

3. Natijalar

3.1. Iqlim o'zgarishi va suv resurslariga bosim

Harorat ko'tarilishi bug'lanish va o'simliklarning evapotranspiratsiyasini kuchaytirishi, yog'inlarning vaqt va makon bo'yicha notekisligi esa suv mavjudligini mavsumlar kesimida o'zgartirishi mumkin [1]. Tog' muzliklariga bog'liq havzalarda muzliklarning qisqarishi uzoq muddatli oqim rejimiga ta'sir etadi. Shu sharoitda suv omborlari, daryolar, kanallar va yerosti suvlari bo'yicha ma'lumotlarni birgalikda kuzatish muhim.

Suv sifati ham boshqaruvning ajralmas qismidir. Kam oqim sharoitida ayrim ifloslantiruvchi moddalarning konsentratsiyasi ortishi, yuqori harorat esa suv

ekotizimlariga qo‘shimcha bosim keltirishi mumkin. Shu sababli monitoring tizimi faqat suv hajmi va sathini emas, zaruratga qarab harorat, elektr o‘tkazuvchanlik, loyqalik va boshqa sifat ko‘rsatkichlarini ham qamrab olishi kerak.

3.2. IoT sensorlari va masofaviy monitoring

Narsalar interneti (IoT) sensorlar, hisoblagichlar, aloqa modullari va boshqaruv dasturlarini yagona tizimga birlashtiradi. Suv tarmoqlarida oqim va bosim sensorlari quvurdagi noodatiy o‘zgarishlarni aniqlashga, suv sathi datchiklari esa kanal va omborlar holatini kuzatishga yordam beradi. Ma’lumotlar markaziy platformaga uzatilgach, belgilangan chegaralardan chetlanishlar bo‘yicha ogohlantirishlar ishlab chiqilishi mumkin.

Masofadan zondlash sun‘iy yo‘ldosh yoki uchuvchisiz uchish apparatlari tasvirlari orqali ekin maydonlari, o‘simlik holati va hududiy namlik farqlarini baholashga yordam beradi. GIS esa kuzatuvlarni xaritada birlashtirib, suv manbalari, kanallar, ekin maydonlari va suv iste’moli o‘rtasidagi hududiy bog‘liqlikni ko‘rsatadi. Sensorlar mahalliy nuqtada batafsil ma’lumot bersa, masofadan zondlash katta maydonlarni qamrab oladi; ularni birgalikda qo‘llash yanada to‘liq tasavvur beradi [3,4].

3.3. Aqlli sug‘orish, sun‘iy intellekt va katta ma’lumotlar

Aqlli sug‘orish tizimlari sug‘orish vaqtini va hajmini tuproq namligi, ob-havo prognozi, ekin turi va rivojlanish bosqichiga qarab belgilaydi. Tomchilatib sug‘orish suvni o‘simlik ildiz zonasiga yetkazadi, avtomatik klapanlar esa sug‘orishni oldindan belgilangan yoki sensor ma’lumotlari asosidagi rejimda boshqarishi mumkin. Bunda filtratsiya, bosimni nazorat qilish, tomizgichlarning tiqilib qolishini tekshirish va suv sifati kabi texnik masalalar ham e’tiborga olinadi.

Sun‘iy intellekt va mashinaviy o‘rganish tarixiy iste’mol, ob-havo, tuproq va oqim ma’lumotlari asosida suv talabi yoki nosozlik ehtimolini prognozlash uchun ishlatilishi mumkin. Biroq model natijasi kiruvchi ma’lumotlar sifati va mahalliy sharoitga mosligiga bog‘liq. Raqamli texnologiyalar bo‘yicha so‘nggi sharhlar masofadan zondlash va sun‘iy intellektning ko‘p turdagi vazifalarda qo‘llanayotganini, shu bilan birga xarajat, malaka, infratuzilma va ma’lumotlarni boshqarish bilan bog‘liq to‘siqlar saqlanib qolayotganini qayd etadi [3,4].

IoT asosidagi aqlli sug'orish tizimlariga oid tizimli sharhlarda suv tejaliishi bo'yicha sezilarli, ammo tajriba sharoitiga qarab farqlanuvchi natijalar qayd etilgan [4]. Shu sababli biror foizni barcha ekinlar va hududlar uchun universal ko'rsatkich sifatida berish to'g'ri emas. Mahalliy tajriba maydonlarida suv sarfi, hosildorlik, energiya iste'moli va ekspluatatsiya xarajatlari birgalikda o'lchanishi lozim.

3.4. O'zbekiston sharoitida dolzarblik

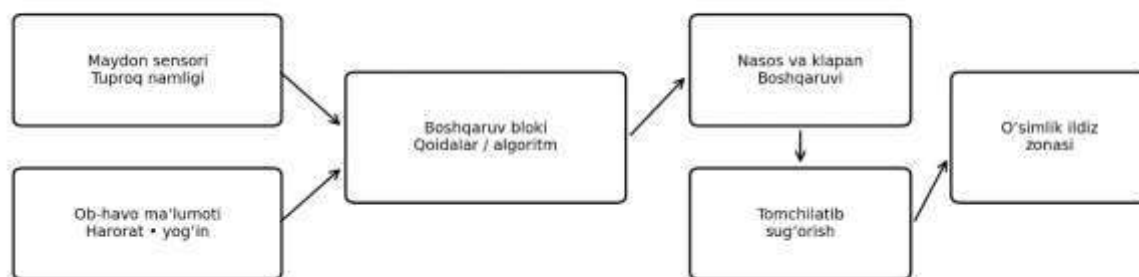
O'zbekistonning qurg'oqchil iqlimi va irrigatsiyaga yuqori ehtiyoji suv resurslarini hisobga olish va taqsimlashni takomillashtirishni muhim vazifaga aylantiradi. Jahon bankining 2023-yilgi mamlakat iqlim va taraqqiyot hisobotida suv tejovchi texnologiyalar, iqlimga mos qishloq xo'jaligi siyosati, irrigatsiya infratuzilmasini modernizatsiya qilish va suv hisobini yaxshilash kabi yo'nalishlar ko'rsatilgan [5].

2025-yil may oyida Jahon banki O'zbekistonda irrigatsiya va drenaj infratuzilmasini modernizatsiya qilish uchun 200 million AQSh dollari miqdoridagi imtiyozli kreditni ma'qullagani haqida xabar bergan. Dastur suv yo'qotishlarini kamaytirish va irrigatsiya xizmatlari samaradorligini oshirishga qaratilgan [6]. Bu tashabbus raqamli hisob, masofaviy monitoring va energiya samaradorligini infratuzilma yangilanishi bilan uyg'unlashtirish zarurligini ko'rsatadi.

Amaliy joriy etishda dastlab suv sarfi yuqori yoki yo'qotish ehtimoli katta bo'lgan uchastkalarni tanlash, asosiy nuqtalarga hisoblagich va bosim/sath sensorlarini o'rnatish, ma'lumotlarni yagona formatda yig'ish va ogohlantirish mexanizmini yo'lga qo'yish maqsadga muvofiq. Keyingi bosqichda GIS xaritalari, sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va suv talabi prognozlarini integratsiya qilish mumkin. Har bir loyiha oldidan boshlang'ich holat qayd etilib, natijalar mavsumlar bo'yicha solishtirilishi kerak.



1-rasm. Iqlim omillaridan suv boshqaruvi qarorigacha bo'lgan raqamli monitoring zanjiri. Manba: mualliflar tomonidan IPCC [1] va UNESCO [2] materiallari asosida tuzilgan.



Samaradorlikni baholash: suv sarfi + hosildorlik + energiya + texnik xizmat xarajatlari

Eslatma: avtomatlashtirishdan oldin sensorlarni kalibrlash va sug'orish me'yori ekin hamda tuproq sharoitiga moslash zarur.

2-rasm. IoT sensorlari asosidagi aqlli sug'orish tizimining konseptual sxemasi. Manba: mualliflar ishlanmasi; FAO [3, 9] materiallari asosida.

Texnologiya	Asosiy vazifasi	Cheklov / talab
IoT sensorlari	Oqim, bosim, sath va namlikni kuzatish	Kalibrlash, aloqa, elektr ta'minoti
Masofadan zondlash + GIS	Hududiy holat va ekin suv sarfini baholash	Tasvir aniqqligi, tekshiruv ma'lumoti
AI / ma'lumotlar tahlili	Talabni prognozlash va og'ishlarni aniqlash	Sifatli tarixiy ma'lumot va mutaxassis

3-rasm. Suv boshqaruvida raqamli texnologiyalar: vazifa va joriy etish shartlari. Manba: adabiyotlar tahlili [3, 4, 9].

4. Muhokama

Adabiyotlar tahlili raqamli yechimlarni alohida qurilmalar sifatida emas, balki o'lchash, aloqa, tahlil va qaror qabul qilishdan iborat yagona boshqaruv zanjiri sifatida

joriy etish zarurligini ko'rsatadi. Masalan, sensor ma'lumotlari avtomatik yig'lsa-yu, hisoblagich kalibrlanmagan yoki operator ogohlantirishga javob bermasa, texnologiyaning amaliy foydasi cheklangan bo'ladi. Xuddi shuningdek, suv tejalishi daladagi suv sarfi bilan birga hosildorlik, tuproq sho'rlanishi va energiya sarfi orqali ham baholanishi lozim.

Joriy etishdagi asosiy to'siqlar — boshlang'ich investitsiya, chekka hududlarda aloqa va elektr ta'minoti, qurilmalarni ta'mirlash, ma'lumotlar formatining mos kelmasligi, kiberxavfsizlik va malakali xodimlar yetishmasligi. Bu muammolarni bosqichma-bosqich joriy etish, ochiq standartlardan foydalanish, mahalliy texnik xizmatni yo'lga qo'yish va suv iste'molchilari bilan ishlash orqali kamaytirish mumkin. Raqamli tizimlar suv taqsimotining institutsional qoidalari va shaffof hisob bilan birga qo'llangandagina barqaror natija berishi ehtimoli yuqori.

1-jadval. Raqamli texnologiyalarni tanlashda e'tiborga olinadigan mezonlar

Texnologiya	Kuzatiladigan ko'rsatkich / natija	Joriy etishdagi asosiy talab
IoT sensorlari	Oqim, bosim, suv sathi, tuproq namligi	Kalibrlash, aloqa va texnik xizmat
GIS va masofadan zondlash	Hududiy suv taqsimoti, ekin maydoni, evapotranspiratsiya	Sun'iy yo'ldosh ma'lumoti va yer usti tekshiruv
AI va katta ma'lumotlar	Suv talabi prognozi, noodatiy sarfni aniqlash	Ishonchli va muntazam yangilanadigan ma'lumot
Aqlli sug'orish	Sug'orish vaqti/hajmini moslashtirish	Ekin, tuproq, suv sifati va gidravlik holatni hisobga olish

5. Amaliy tavsiyalar

Avval suv oqimi va sarfi bo'yicha boshlang'ich ma'lumotlarni yig'ish, hisoblagichlarni tekshirish va suv balansi tuzish.

Ustuvor kanal, nasos stansiyasi yoki xo'jaliklarda IoT sensorlari va masofadan o'qiladigan hisoblagichlarni sinov tariqasida joriy etish.

Sensor, meteorologik va masofadan zondlash ma'lumotlarini GIS platformasida birlashtirish; ma'lumotlarning vaqti, birligi va sifatini standartlashtirish.

Aqlli sug'orish tajribalarida suv sarfi bilan birga hosildorlik, energiya sarfi, mehnat va texnik xizmat xarajatlarini ham o'lchash.

Foydalanuvchilar va mutaxassislar uchun o'qitish, qurilmalarni kalibrlash va ta'mirlash rejasini loyihaning boshidan belgilash.

Natijalarni kamida bir necha sug'orish davri davomida taqqoslash; suv tejash bo'yicha umumiy foizni mahalliy dalil o'rnida ishlatmaslik.

6. Xulosa

Iqlim o'zgarishi suv resurslarining miqdori, sifati va mavsumiy taqsimotiga qo'shimcha noaniqlik kiritadi. IoT sensorlari, masofadan zondlash, GIS, sun'iy intellekt va avtomatlashtirilgan sug'orish suvni kuzatish, yo'qotishlarni aniqlash hamda suv taqsimotini rejalashtirishni yaxshilashi mumkin. O'zbekiston uchun raqamli boshqaruvni irrigatsiya infratuzilmasini modernizatsiya qilish va suv hisobini takomillashtirish bilan birgalikda olib borish muhim.

Tadqiqot sharhi shuni ko'rsatadiki, texnologik yechimning samarasi faqat uskunaning mavjudligiga emas, balki ishonchli ma'lumot, mos boshqaruv algoritmi, texnik xizmat, mutaxassislar salohiyati va aniq baholash mezonlariga ham bog'liq. Keyingi tadqiqotlarda mahalliy tajriba maydonlarida suv sarfi, hosildorlik, energiya iste'moli va iqtisodiy xarajatlarni birgalikda o'lchash tavsiya etiladi. Ushbu maqolada mualliflarning o'z dala tajribasi natijalari taqdim etilmagan; xulosalar foydalanilgan manbalar tahliliga asoslangan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Chapter 8: Water Cycle Changes. Cambridge University Press, 2021.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-8/>

2. UNESCO. United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: UNESCO, 2024.
<https://www.unesco.org/en/reports/wwdr/2024>

3. Parra-López, C., Ben Abdallah, S., Garcia-Garcia, G., Hassoun, A., Trollman, H., Jagtap, S., Gupta, S., Aït-Kaddour, A., Makmuang, S., Carmona-Torres, C. Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future

outlook. *Agricultural Water Management*, 309 (2025), 109347.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347>

4. Moustafa, A., Abdelwahab, O. M. M., Ricci, G. F., Gentile, F. Internet of Things-enabled smart irrigation systems for precision water management: A systematic review. *Agricultural Water Management*, 333 (2026), 110615.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2026.110615>

5. World Bank. Uzbekistan Country Climate and Development Report. Washington, DC: World Bank, 2023.
<https://www.worldbank.org/en/country/uzbekistan/publication/ccdr>

6. World Bank. Uzbekistan to Modernize Its Irrigation Infrastructure with World Bank Support. Press release, 21 May 2025. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/05/21/uzbekistan-to-modernize-its-irrigation-infrastructure-with-world-bank-support>

7. UNESCO. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. Paris: UNESCO, 2020. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2020/en>

8. FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Systems at Breaking Point. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. <https://www.fao.org/land-water/solaw2021/en/>

9. FAO. AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture. <https://www.fao.org/aquastat/>

10. World Bank. Digital Development Overview: Digital Technologies and Data for Development. World Bank digital development resources. <https://www.worldbank.org/en/topic/digitaldevelopment>

11. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998. <https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm>

12. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1, 2015. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

13. World Meteorological Organization. State of Climate Services 2021: Water. Geneva: WMO, 2021. <https://wmo.int/>

14. Karimov, S. Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi asoslari. Toshkent, 2020. (Dastlabki maqolada keltirilgan bibliografik ma'lumotlar asosida; nashriyot va sahifalar tekshirilishi kerak.)

15. Abdullayev, R. Suv resurslarini boshqarish va muhofaza qilish. Toshkent, 2019. (Dastlabki maqolada keltirilgan bibliografik ma'lumotlar asosida; nashriyot va sahifalar tekshirilishi kerak.)

16. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 4: Water, Figure 4.2 — The water cycle, including direct human interventions. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/figures/chapter-4/figure-4-002/>

