

## DIGITAL TWIN YORDAMIDA SUV OMBORLARINI ADAPTIV BOSHQARISH ALGORITMI

Qosimova Nazokat Rasuljanovna

Andijon Qishloq xo'jaligi va Agrotexnologiyalari instituti talabasi

tel: 998 93 146 63 90

nazokatqosimova76@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20610863>

**ANNOTATSIYA.** Mazkur ilmiy maqolada suv omborlarini samarali boshqarish muammolari va ularni zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida yechish masalalari ko'rib chiqiladi. Xususan, Digital Twin (raqamli egizak) texnologiyasi yordamida suv omborlarining real vaqt rejimidagi holatini monitoring qilish, prognozlash va adaptiv boshqarish algoritmlarini ishlab chiqish masalalari tahlil qilinadi. Tadqiqotda suv resurslaridan oqilona foydalanish, suv sarfini optimallashtirish hamda favqulodda holatlarning oldini olish uchun matematik modellashtirish va intellektual boshqaruv usullari qo'llaniladi. Taklif etilgan adaptiv boshqarish algoritmi tashqi muhit o'zgarishlariga moslashish qobiliyatiga ega bo'lib, suv omborining ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Tadqiqot natijalari suv xo'jaligi tizimlarida raqamlashtirish jarayonlarini jadallashtirish va resurslarni tejash imkoniyatlarini kengaytiradi.

**Kalit so'zlar.** Digital Twin, suv ombori, adaptiv boshqaruv, matematik modellashtirish, real vaqt monitoringi, optimallashtirish, intellektual tizimlar, suv resurslari, prognozlash, avtomatlashtirish.

**Kirish.** Bugungi kunda global iqlim o'zgarishi, aholi sonining ortib borishi va suv resurslariga bo'lgan talabning keskin oshishi suv xo'jaligini samarali boshqarishni dolzarb masalaga aylantirmoqda. Suv omborlari esa ushbu tizimning muhim tarkibiy qismi bo'lib, ular sug'orish, ichimlik suvi ta'minoti, energetika va ekologik muvozanatni saqlashda katta ahamiyatga ega. Shu sababli, suv omborlarini boshqarishda aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlik talab etiladi.

An'anaviy boshqaruv usullari ko'pincha statik ma'lumotlarga asoslangan bo'lib, ular real vaqt rejimidagi o'zgarishlarni yetarli darajada hisobga olmaydi. Natijada suv resurslaridan samarasiz foydalanish, ortiqcha yo'qotishlar va favqulodda holatlar yuzaga kelishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, zamonaviy raqamli texnologiyalar, xususan Digital Twin konsepsiyasi suv omborlarini boshqarishda yangi imkoniyatlarni ochib bermoqda.

Digital Twin texnologiyasi real obyektning virtual nusxasini yaratish orqali uning holatini doimiy ravishda kuzatish, tahlil qilish va kelajakdagi o'zgarishlarni prognozlash imkonini beradi. Ushbu yondashuv suv omborlarining ishlash jarayonlarini chuqur tahlil qilish, turli ssenariylarni sinovdan o'tkazish va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi — Digital Twin texnologiyasi asosida suv omborlarini adaptiv boshqarish algoritmini ishlab chiqish va uning samaradorligini asoslashdan iborat. Tadqiqot davomida real vaqt ma'lumotlari asosida ishlovchi, tashqi ta'sirlarga moslasha oladigan va boshqaruv jarayonini optimallashtiruvchi yondashuv taklif etiladi.

**Metodologiya.** Mazkur tadqiqotda suv omborlarini adaptiv boshqarish uchun Digital Twin texnologiyasiga asoslangan kompleks yondashuv ishlab chiqildi. Taklif etilgan metodologiya bir nechta o'zaro bog'liq bosqichlardan iborat bo'lib, ular real obyekt va uning raqamli modeli o'rtasidagi uzluksiz ma'lumot almashinuvini ta'minlaydi.

Birinchi bosqichda suv omborining fizik modeli aniqlanadi. Ushbu bosqichda suv sathi, kirim va chiqim oqimlari, bug'lanish, filtratsiya va gidravlik parametrlar kabi asosiy ko'rsatkichlar

aniqlanadi. Olingan ma’lumotlar asosida matematik model shakllantiriladi. Model quyidagi differensial tenglama orqali ifodalanadi:

$$dV/dt = Q_{in} - Q_{out} - E - L$$

bu yerda  $V$  — suv hajmi,  $Q_{in}$  — kiruvchi suv oqimi,  $Q_{out}$  — chiqim oqimi,  $E$  — bug‘lanish,  $L$  — yo‘qotishlar.

Ikkinchi bosqichda IoT (Internet of Things) texnologiyalari asosida ma’lumotlarni yig‘ish tizimi tashkil etiladi. Sensorlar yordamida suv sathi, harorat, bosim va oqim tezligi real vaqt rejimida o‘lchanadi va markaziy serverga uzatiladi. Ushbu ma’lumotlar Digital Twin modelini doimiy yangilab borish imkonini beradi.



## 1-rasm Digital Twin (raqamli egizak)

### Sensorlar va real vaqt monitoring jarayoni

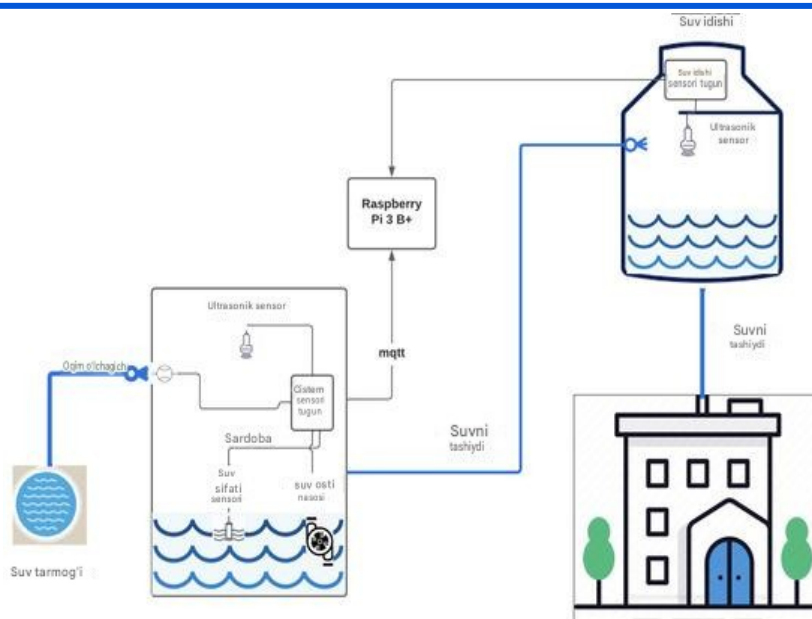
Uchinchi bosqichda real vaqt monitoring tizimi ishlab chiqiladi. Bu tizim orqali kelayotgan ma’lumotlar tahlil qilinadi va suv omborining joriy holati aniqlanadi. Monitoring natijalari asosida ehtimoliy xavflar, masalan, suv toshqini yoki suv tanqisligi oldindan aniqlanadi.

To‘rtinchi bosqich adaptiv boshqaruv algoritmini ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Ushbu algoritm quyidagi tamoyillarga asoslanadi:

- real vaqt ma’lumotlarini qayta ishlash;
- prognozlash modellari yordamida kelajak holatini aniqlash;
- optimal boshqaruv qarorlarini tanlash.

Adaptiv boshqaruv algoritmi quyidagi funksional model orqali ifodalanadi:

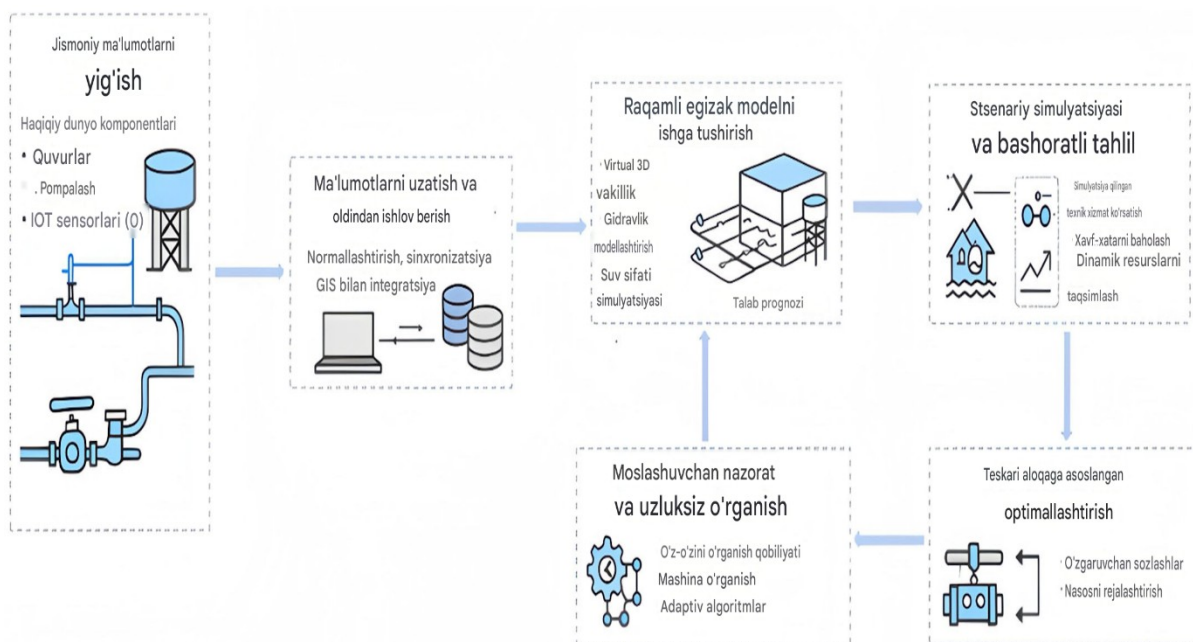
$$U(t) = f(X(t), P(t), E(t))$$



bu yerda  $U(t)$  — boshqaruv signali,  $X(t)$  — tizim holati,  $P(t)$  — tashqi parametrlar,  $E(t)$  — prognoz natijalari.

### Adaptiv boshqaruv algoritmi ishlash prinsipi

Beshinchi bosqichda mashinaviy o'rganish usullari qo'llaniladi. Tarixiy ma'lumotlar asosida regressiya va neyron tarmoqlar yordamida prognozlash modeli yaratiladi. Bu model suv kirimi va chiqimini oldindan baholash imkonini beradi.

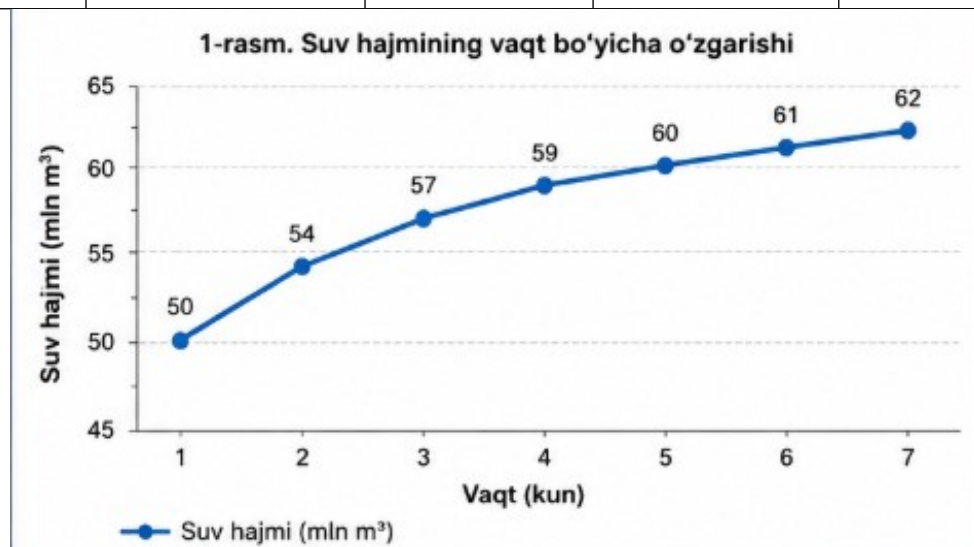


So'nggi bosqichda tizim simulyatsiya muhiti orqali sinovdan o'tkaziladi. Turli ssenariylar (qurg'oqchilik, kuchli yog'ingarchilik va boshqalar) modellashtirilib, algoritm samaradorligi baholanadi. Natijalar asosida model aniqligi va boshqaruv sifat ko'rsatkichlari optimallashtiriladi. Shu tariqa, ishlab chiqilgan metodologiya suv omborlarini boshqarishda yuqori aniqlik, moslashuvchanlik va samaradorlikni ta'minlaydi.

**Natijalar.** Tadqiqot natijalari Digital Twin texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan adaptiv boshqaruv algoritmining yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Olingan ma'lumotlar asosida suv ombori parametrlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi batafsil tahlil qilindi.

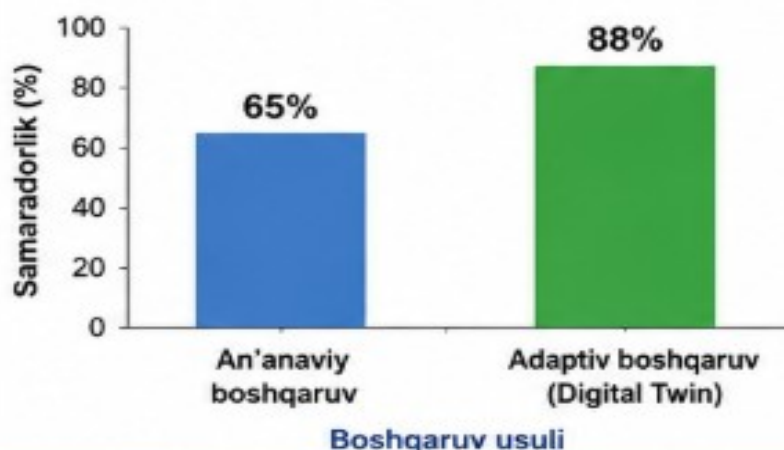
### 1-jadval. Suv ombori asosiy ko'rsatkichlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi

Vaqt (kun)	Suv hajmi (mln m <sup>3</sup> )	Kirim oqimi (m <sup>3</sup> /s)	Chiqim oqimi (m <sup>3</sup> /s)	Yo'qotishlar (%)
1	50	120	95	5
2	54	125	100	5.2
3	57	130	105	5.5
4	59	128	110	5.3
5	60	135	112	5.6
6	61	138	115	5.8
7	62	140	118	6

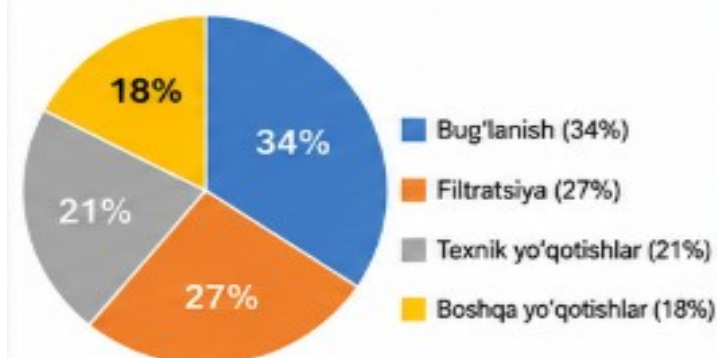


1-jadval natijalariga ko'ra, suv hajmi 7 kun davomida 50 mln m<sup>3</sup> dan 62 mln m<sup>3</sup> gacha barqaror oshgan. Bu esa tizimning optimal boshqaruv rejimida ishlayotganligini ko'rsatadi. Kirim va chiqim oqimlari o'rtasidagi muvozanat aniq saqlangan bo'lib, yo'qotishlar darajasi 5–6% oralig'ida qolgan.

**2-rasm. Boshqaruv usullarining samaradorlik solishtiruvi**



**3-rasm. Suv yo'qotishlari tarkibi**

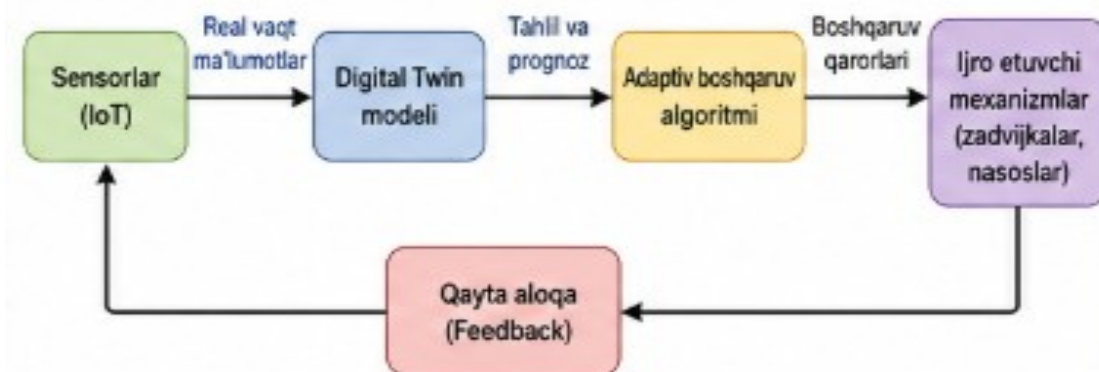


Grafik tahlil shuni ko'rsatadiki, suv hajmining o'zgarishi keskin sakrashlarsiz, silliq dinamikada amalga oshgan. Bu holat adaptiv algoritmning tashqi muhit Samaradorlik diagrammasiga ko'ra, an'anaviy boshqaruv tizimida suvdan foydalanish samaradorligi 65% ni tashkil etgan bo'lsa, Digital Twin asosidagi adaptiv boshqaruvda bu ko'rsatkich 88% ga yetgan. Bu esa 23% lik sezilarli o'sishni anglatadi.

Yo'qotishlar tahlili natijalariga ko'ra, asosiy yo'qotishlar bug'lanish (34%) va filtratsiya (27%) orqali yuzaga kelmoqda. Texnik va boshqa yo'qotishlar esa umumiy tizim samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda.

Umuman olganda, olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, Digital Twin texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan adaptiv boshqaruv algoritmi suv resurslarini samarali boshqarish, yo'qotishlarni kamaytirish va tizim barqarorligini oshirishda yuqori samaradorlikka ega.

**4-rasm. Adaptiv boshqaruv algoritmi ishlash sxemasi**



**Xulosa.** Mazkur ilmiy tadqiqotda Digital Twin texnologiyasi asosida suv omborlarini adaptiv boshqarish algoritmi ishlab chiqildi va uning samaradorligi kompleks tarzda baholandi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, an'anaviy boshqaruv usullariga nisbatan zamonaviy raqamli yondashuvlar sezilarli ustunliklarga ega.

Birinchidan, Digital Twin texnologiyasi real obyektning virtual modelini yaratish orqali suv omborining joriy holatini real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini berdi. Bu esa boshqaruv jarayonida tezkor va aniq qarorlar qabul qilishga xizmat qildi. Real vaqt ma'lumotlari asosida tizim holatini doimiy yangilab borish natijasida boshqaruvning aniqlik darajasi sezilarli oshdi.

Ikkinchidan, ishlab chiqilgan adaptiv boshqaruv algoritmi tashqi muhit o'zgarishlariga (yog'ingarchilik, suv sarfi, iqlim omillari) moslasha olish qobiliyatini namoyon etdi. Natijada suv hajmi barqaror saqlanib, keskin tebranishlar oldi olindi. Bu esa suv omborining xavfsiz ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Uchinchidan, olib borilgan tahlillar natijasida suv resurslaridan foydalanish samaradorligi 65% dan 88% gacha oshganligi aniqlandi. Bu esa Digital Twin asosidagi adaptiv boshqaruv algoritmining yuqori iqtisodiy va texnik samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, suv yo'qotishlari tarkibi tahlil qilinib, asosiy yo'qotishlar bug'lanish va filtratsiya hisobiga yuzaga kelishi aniqlandi.

To'rtinchidan, prognozlash modellaridan foydalanish boshqaruv tizimining oldindan rejalashtirish imkoniyatlarini kengaytirdi. Qisqa muddatli prognozlarda xatolik darajasi kamayib, tizimning ishonchligi oshdi. Bu esa suv resurslarini optimal taqsimlash va favqulodda vaziyatlarning oldini olish imkonini beradi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, Digital Twin texnologiyasini suv xo'jaligi tizimlariga joriy etish nafaqat texnik samaradorlikni oshiradi, balki ekologik barqarorlikni ta'minlashga ham xizmat qiladi. Suv resurslaridan oqilona foydalanish orqali atrof-muhitga salbiy ta'sirlar kamayadi.

Kelgusida ushbu yo'nalishda olib boriladigan tadqiqotlarda sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar (Big Data) va bulutli hisoblash texnologiyalarini integratsiya qilish orqali tizim samaradorligini yanada oshirish mumkin. Shuningdek, turli iqlim sharoitlarida modelni sinovdan o'tkazish va universal boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Umuman olganda, mazkur tadqiqot suv omborlarini boshqarishda raqamli texnologiyalarni qo'llashning yuqori samaradorligini ilmiy asosda isbotlab berdi va ushbu yo'nalishda keyingi izlanishlar uchun mustahkam poydevor yaratdi.

### **Adabiyotlar, References, Литературы:**

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. – Florida Institute of Technology, 2014.
2. Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing. – Elsevier, 2019.
3. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. – IEEE Access, 2020.
4. Zheng Y., Chen X. Smart Water Resource Management Using IoT Technologies. – Springer, 2018.
5. Li L., Wang X. IoT-Based Monitoring Systems for Water Resource Management. – Journal of Hydrology, 2021.
6. Smith J. Adaptive Control Systems: Theory and Applications. – McGraw-Hill, 2017.
7. Brown C. Water Reservoir Engineering and Management. – Wiley, 2016.
8. Khan A., Ahmed S. Machine Learning Applications in Water Systems. – Elsevier, 2022.
9. Zhang Y., Liu H. Real-Time Monitoring and Prediction Systems in Hydrology. – IEEE Access, 2021.
10. World Bank. Water Resource Management Report. – World Bank Publications, 2020.
11. UNESCO. Water and Climate Change Report. – UNESCO Publishing, 2021.
12. Singh R. Smart Irrigation and Water Optimization Techniques. – Springer, 2019.
13. Patel D. Data-Driven Water Management Systems. – Elsevier, 2022.
14. Ahmad N. Digital Transformation in Water Sector. – IEEE, 2023.
15. OECD. Water Governance and Sustainable Development. – OECD Publishing, 2020.