

HUDUDIIY SUV EKOTIZIMLARI HOLATINI TAHLIL VA PROGNOZLASH MODELI

T.A. Xoʻjakulov¹,

e-mail: mehr_toj@mail.ru,

M.S.Yakubov²

e-mail: maksadxon55@mail.com

R.I.Oteniyazov³

e-mail: r.oteniyazov@gmail.com

N.A.Axmedova⁴

e-mail: n.axmedova@tuit.uz

*Toshkent Amaliy fanlar universiteti, "Kompyuter injiniringi" kafedrası t.f.f.D (PhD), dotsent¹
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti professori²
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti Nukuk
filiali professori³
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot Texnologiyalari Universiteti f.-m.f.n;
dotsent⁴*

Annotatsiya

Ushbu maqolada hududiy oʻzaro bogʻlangan suv resurslarining ekologik holatini bashorat qilishga qaratilgan matematik model va algoritim ishlab chiqiladi. Ekologik monitoring natijalariga tayangan holda, suv tizimlarining joriy holatini baholash hamda kelajakdagi oʻzgarishlarini prognozlash imkonini beruvchi tizimli yondashuv taklif etiladi. Mazkur yondashuv suv havzalarining oʻzaro bogʻliqligini inobatga olgan holda, ularning bir-biriga koʻrsatadigan ekologik taʼsirini aniqlash imkonini beradi. Hududiy suv resurslarining ekologik holatini aniqlash va bashoratlash zamonaviy ekologik boshqaruvning muhim yoʻnalishlaridan biri hisoblanadi. Maqolada suv havzalari oʻrtasidagi oʻzaro taʼsirlarni hisobga oluvchi matematik model hamda algoritmik yechim taklif qilingan. Ushbu model tabiiy va antropogen omillarning suv tizimlariga taʼsirini kompleks tahlil qilish, shuningdek, real vaqt monitoring maʼlumotlari asosida prognozlash imkonini beradi. Ishlab chiqilgan algoritim tarixiy va joriy maʼlumotlar asosida mashina oʻrganish usullaridan foydalangan holda ekologik holatni yuqori aniqlikda baholashni taʼminlaydi.

Kalit soʻzlar: ekologik monitoring, suv resurslari, bashoratlash modeli, algoritim, tarmoqli tizim, ekologik holat, matematik modellashtirish, suv havzalari, ifloslanish, sunʼiy intellekt, suv ekologiyasi.

Abstract

This paper develops a mathematical model and algorithm for forecasting the ecological state of regionally interconnected water resources. Based on ecological monitoring data, a systematic approach is proposed that enables the assessment of current conditions and prediction of future changes in water systems. The proposed approach takes into account the interconnectivity of water bodies, allowing for the identification of their mutual ecological impacts. Assessing and forecasting the ecological state of regional water resources is one of the key directions in modern environmental management. The paper presents a mathematical model and an algorithmic solution that consider interactions between water bodies. The model allows for a comprehensive analysis of the effects of natural and anthropogenic factors on water systems, as well as forecasting based on real-time monitoring data. The developed algorithm applies machine learning techniques using both historical and real-time data, ensuring high accuracy in assessing ecological conditions.

Keywords: ecological monitoring, water resources, forecasting model, algorithm, network system, ecological state, mathematical modeling, water bodies, pollution, artificial intelligence, water ecology

Kirish

Suv resurslarining ekologik holatini aniqlash va samarali boshqarish bugungi kunda dolzarb ilmiy-amaliy muammolardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, hududiy oʻzaro bogʻlangan (tarmoqli) suv tizimlarida ekologik jarayonlarning murakkabligi ekologik xavfsizlikni taʼminlashda alohida ahamiyat kasb etadi. Bunday tizimlarda suv havzalari oʻrtasidagi oʻzaro taʼsirlarni hisobga olish, ularning umumiy ekologik holatini baholash va bashorat qilishda muhim omil hisoblanadi. Suv resurslarining ekologik holatini bashoratlash ularning ifloslanishini oldini olish, resurslardan oqilona foydalanish hamda optimallashtirilgan boshqaruv qarorlarini qabul qilishda asosiy vositalardan biridir. Hozirgi kunda suv sifati, hajmi va unga tushayotgan antropogen yuklamalar (sanoat chiqindilari, qishloq xoʻjaligi oqovalari, aholi isteʼmoli) doimiy ravishda oʻzgarib bormoqda. Ayniqsa, oʻzaro bogʻlangan suv tizimlarida bu omillar taʼsirini kompleks baholash va prognozlash yanada murakkablashadi [1,3].

Tarmoqli suv tizimlari yuqori darajada oʻzaro bogʻliqlikka ega boʻlib, bitta suv havzasida yuzaga kelgan ekologik oʻzgarishlar butun tizim boʻylab tarqalib, umumiy ekologik muvozanatga sezilarli taʼsir koʻrsatadi. Shu sababli, bunday tizimlarning ekologik holatini aniqlash va bashoratlashda tizimli va matematik modellashirish yondashuvlarini qoʻllash muhim ahamiyatga ega.

Suvning ifloslanishi deganda suv havzalarining fizik, kimyoviy va biologik xususiyatlarining tashqi omillar taʼsirida yomonlashuvi tushuniladi. Bu jarayon suvdan foydalanish samaradorligining pasayishiga, inson salomatligi va atrof-muhitga salbiy taʼsir koʻrsatishiga olib keladi. Ifloslanish asosan tashqi manbalardan kelib tushuvchi moddalar natijasida yuzaga kelib, suvning tabiiy holatini buzadi hamda uning ekologik barqarorligini izdan chiqaradi [2].

Dolzarbli

Hozirgi davrda iqlim oʻzgarishi, aholining oʻsishi hamda sanoat va qishloq xoʻjaligi faoliyatining kengayishi natijasida suv resurslariga tushayotgan bosim sezilarli darajada ortib bormoqda. Bu jarayon suv havzalarining ekologik holatiga salbiy taʼsir koʻrsatib, ularning barqarorligini izdan chiqarmoqda. Ayniqsa, oʻzaro bogʻlangan (tarmoqli) suv tizimlarida ekologik muvozanatni saqlash masalasi yanada murakkablashadi, chunki bitta havzadagi oʻzgarishlar butun tizimga taʼsir koʻrsatadi.

Shu sababli, suv resurslarining ekologik holatini tezkor baholash va oldindan bashoratlash imkonini beruvchi zamonaviy modellashirish usullariga ehtiyoj ortib bormoqda. Amaldagi monitoring tizimlari koʻpincha real vaqt rejimida tahlil va prognozlash imkoniyatiga ega emas, bu esa samarali ekologik boshqaruv qarorlarini qabul qilishni cheklaydi.

Mazkur muammolarni hal etish nuqtai nazaridan, hududiy tarmoqli suv tizimlarining ekologik holatini aniqlash va bashoratlashga qaratilgan raqamli va matematik modellarni ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Ushbu maqolada taklif etilgan yondashuv ekologik xavflarni erta aniqlash va ularning oldini olishda samarali vosita boʻlib xizmat qiladi [5].

Maqolaning vazifasi

Maqolaning asosiy maqsadi — hududiy oʻzaro bogʻlangan suv resurslarining ekologik holatini bashoratlashga moʻljallangan matematik model va algoritim ishlab chiqishdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

- suv havzalarining ekologik holatini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlarni aniqlash;
- suv havzalari o'rtasidagi bog'liqlikni grafik (tarmoqli) model asosida ifodalash;
- har bir havza uchun individual bashorat modelini ishlab chiqish;
- monitoring ma'lumotlariga asoslangan mashina o'rganish algoritmini yaratish;
- suv resurslarining ekologik holatini kompleks tahlil qilish;
- hududiy bog'langan suv tizimlari o'rtasidagi ekologik o'zaro ta'sirlarni modellashtirish;
- ekologik holatni prognozlash algoritmini ishlab chiqish.

Masala qo'yilishi

Ushbu ishda suv havzalarining joriy ekologik holatini monitoring ma'lumotlari asosida baholash va ularning kelgusidagi o'zgarishlarini bashoratlash masalasi ko'rib chiqiladi. Bunda suv tizimlarining tarmoqli xususiyati hisobga olinib, har bir havza uchun alohida hamda butun tizim uchun umumiy prognoz ko'rsatkichlarini aniqlash talab etiladi [4,7].

Hududiy suv tizimlari turli geografik va antropogen sharoitlarda joylashgan bo'lib, ular o'zaro gidrologik, kimyoviy va biologik jihatdan bog'langan. Har bir suv havzasining ekologik holati quyidagi asosiy parametrlar orqali tavsiflanadi:

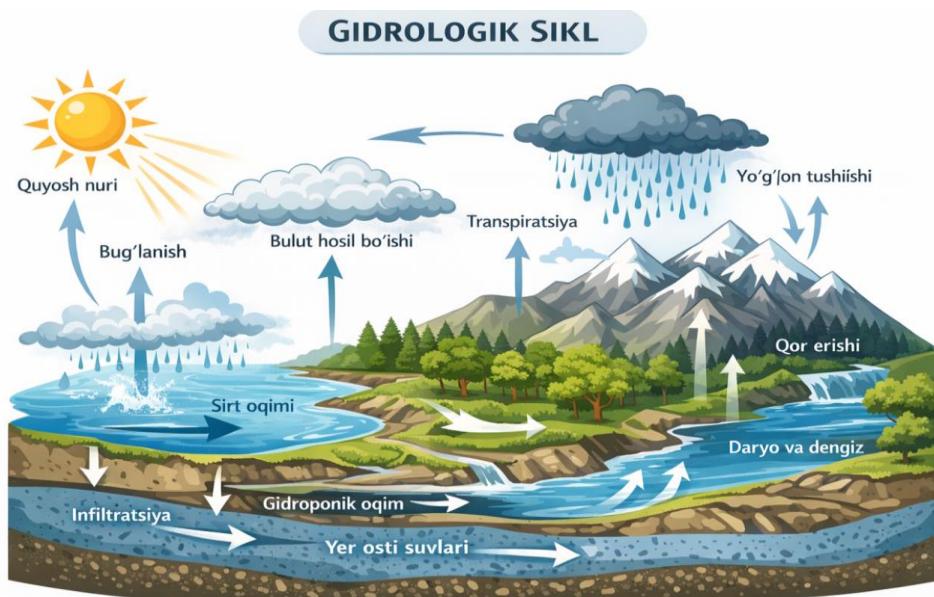
- biologik kislorod iste'moli (BOD);
- kimyoviy kislorod iste'moli (COD);
- nitrat va fosfatlar konsentratsiyasi;
- suvning harorati va pH darajasi;
- og'ir metallar (Pb, Cd, Hg) miqdori.

Masalaning mohiyati shundan iboratki, monitoring punktlaridan olingan ma'lumotlar asosida butun suv tarmog'i bo'yicha ekologik holatni kompleks baholash hamda yaqin istiqboldagi o'zgarishlarni aniqlash zarur.

Yechim

Gidrologik tizim va suv resurslarining shakllanishi

Yer yuzasidagi suv resurslarini doimiy harakatda bo'lgan murakkab tizim sifatida ko'rib chiqish mumkin. Ushbu jarayon gidrologik sikl orqali ifodalanadi bo'lib, unda suvning atmosfera, yer usti va yer osti qatlamlari o'rtasidagi aylanishi amalga oshadi [8,10]. Gidrologik sikl suv resurslarining shakllanishi, taqsimlanishi va yangilanishining asosiy mexanizmini tashkil etadi (1-rasm).



1 – rasm. Gidrologik tizim va suv resurslarining shakllanishi

Suv sifati nuqtai nazaridan qaranganda, distillangan suv (H_2O) eng yuqori tozalik darajasini ifodalaydi. Biroq, tabiiy sharoitdagi suvlar mutlaq toza emas, chunki ular tabiiy va antropogen omillar ta'sirida turli darajada ifloslanadi. Tabiiy ifloslanish manbalariga flora va fauna faoliyati, vulqon jarayonlari, atmosferaviy hodisalar (masalan, chaqmoq va yong'inlar) kiradi. Ushbu omillar uzoq muddatli ekologik fonni shakllantiradi.

Antropogen ifloslanish esa sanoat, qishloq xo'jaligi va maishiy faoliyat natijasida hosil bo'ladigan chiqindilar bilan bog'liq bo'lib, suv tizimlarining tabiiy muvozanatini buzadi. Ifloslantiruvchi moddalar gidrologik siklning turli bosqichlarida suvga qo'shilishi mumkin: atmosfera yog'inlari orqali, yer usti oqimlari jarayonida, oqava suvlarning tashlanishi natijasida hamda yer osti suvlariga infiltratsiya orqali.

Gidrologik sikl doirasida suv resurslarining taqsimlanishi va ularning ifloslanish jarayoni 1-rasmda keltirilgan. Ifloslanish gidrologik tizimning istalgan qismida yuzaga kelishi mumkin bo'lib, ayniqsa yer usti suvlarida (daryolar, ko'llar) aniqroq namoyon bo'ladi. Shu bilan birga, yer osti suvlarining ifloslanishi ham uzoq muddatli ekologik oqibatlariga olib keladi [9].

Suv havzalari va ifloslanish manbalari

Suv havzalari yer usti suvlarining shakllanishi va harakatlanishida muhim rol o'ynaydi. Suv havzasi — bu yog'ingarchilik natijasida hosil bo'lgan suvlar to'planadigan, oqadigan va yakuniy ravishda daryolar yoki boshqa suv obyektlariga quyiladigan hudud hisoblanadi. U murakkab drenaj tizimidan iborat bo'lib, barcha oqimlar ma'lum bir chiqish nuqtasiga yo'naltiriladi.

Hududiy suv tizimlarini modellashtirishda gidrologik balans tenglamasidan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Ushbu tenglama suvning kirimi va chiqimini ifodalaydi hamda quyidagi ko'rinishda yoziladi (mm/yil birlikda):

$$P-R-G-E-T=\pm S$$

bu yerda:

P — yog'ingarchilik (yomg'ir, qor, do'l);

R — yer usti oqimi;

G — yer osti suvlari oqimi;

E — bug'lanish;

T — transpiratsiya;

S — suvning saqlanish hajmi.

Mazkur tenglama suv havzasidagi umumiy suv balansini ifodalaydi va ekologik holatni baholash hamda bashoratlashda asosiy matematik asos bo'lib xizmat qiladi.

Yog'ingarchilik gidrologik tizimning boshlang'ich manbai hisoblanadi. Yer usti oqimlari suvning havza bo'ylab harakatini ifodalaydi, yer osti suvlari esa tabiiy saqlash va transport mexanizmi sifatida namoyon bo'ladi. Bug'lanish va transpiratsiya jarayonlari suvning atmosferaga qaytishini ta'minlaydi.

Modelga integratsiya qilish

Taqdim etilgan gidrologik yondashuv hududiy bog'langan suv tizimlarining ekologik holatini modellashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Ushbu model doirasida suv havzalari o'zaro bog'langan tugunlar sifatida qaraladi va ular orasidagi suv almashinuvi hamda ifloslanish tarqalishi tarmoqli model orqali ifodalanadi.

Natijada, gidrologik jarayonlar va ifloslanish omillarini birgalikda hisobga oluvchi matematik model suv resurslarining ekologik holatini aniq baholash va kelgusidagi o'zgarishlarni bashoratlash imkonini beradi.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda hududiy o'zaro bog'langan suv resurslarining ekologik holatini baholash va bashoratlashga qaratilgan tizimli yondashuv ko'rib chiqildi. Hidrologik sikl, suv havzalari va ifloslanish jarayonlarining tahlili asosida suv resurslarining dinamik o'zgaruvchan tabiati va ularning o'zaro ta'sir mexanizmlari yoritildi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, suv tizimlarida yuzaga keladigan ekologik o'zgarishlar faqat mahalliy emas, balki tarmoqli (networked) xarakterga ega bo'lib, butun gidrologik tizimga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, an'anaviy monitoring yondashuvlari bilan bir qatorda matematik modellashtirish va mashina o'rganish asosidagi bashoratlash usullarini qo'llash zarur hisoblanadi.

Taklif etilgan model suv havzalari o'rtasidagi ekologik bog'liqlikni hisobga olgan holda, ifloslanish jarayonlarini kompleks tahlil qilish va kelgusidagi holatni prognozlash imkonini beradi. Bu esa ekologik xavflarni erta aniqlash, suv resurslarini samarali boshqarish va barqaror ekologik muhitni ta'minlashga xizmat qiladi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan yondashuv hududiy suv tizimlarining ekologik monitoringi va boshqaruvi uchun ilmiy-amaliy jihatdan muhim vosita bo'lib, zamonaviy ekologik muammolarni hal etishda samarali yechim sifatida qaraladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Khujakulov, T.A. (n.d.). The problems of information and telecommunication technologies. In *Proceedings of the Republican Scientific and Technical Conference*, Tashkent, pp. 86-88.
 2. Khujakulov, T.A., Oteniyozov, A., & Holikov, E. (n.d.). Problems of integrated water resources management. In *Materials of the International Scientific and Practical Conference*, pp. 190-191.
 3. Yakubov, M., Khujakulov, T.A. (n.d.). Aral Sea. In *Materials for the International Scientific and Practical Conference*, pp. 188-190.
 4. FAO (2022). "Digital Agriculture and AI Applications in Central Asia."
 5. Zhang, Y. et al. (2021). "Smart Farming with IoT and Deep Learning." *Computers and Electronics in Agriculture*.
 6. Liu, H. & Lin, J. (2023). "Agricultural yield prediction using ML models." Elsevier.
 7. UzStat (2023). O'zbekiston qishloq xo'jaligi statistik ko'rsatkichlari.
 8. Spot.uz (2025). "Startaplar uchun 100 mln AQSH dollari ajratilishi rejalashtirilmoqda." 26 mapra 2025 dagi maqola
 9. World Bank (2023). "AI for Agriculture in Emerging Markets."
- Eshmatov, B. (2023). "Smart Dehqonchilik – Tajribalar va Yondashuvlar." *Agrotech Review*.