

Matjonov To‘rabek Otabek o‘g‘li

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti,

“Geografiya” kafedrası tayanch doktoranti

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2837-6536>

Matchanov Otabek Jumanazarovich

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti,

“Geodeziya, kartografiya va kadastr” kasedrası dotsenti, g.f.f.d (PhD).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0444-1311>

**TUYAMO‘YIN SUV OMBORINING EHTIMOLIY TOSHQININI GIS
YORDAMIDA O‘RGANISH, MONITORING QILISH,
XARITALASHTIRISHNING AHAMIYATI**

**ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ,
МОНИТОРИНГА И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ
НАВОДНЕНИЙ В РАЙОНЕ ТУЯМУЮНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**THE IMPORTANCE OF USING GIS FOR THE STUDY, MONITORING,
AND MAPPING OF POTENTIAL FLOODS IN THE TUYAMUYUN
RESERVOIR AREA**

Annotatsiya. Ushbu maqola yer yuzi bo‘ylab tabiiy va antropogen ta’sirda vujudga kelgan katastrofik suv toshqinlarini tahlil qilishga qaratilgan markazlar, institutlar va tadqiqotlarning qisqacha sharxiga asoslangan. Quyi Amudaryo hududining tabiiy-geografik sharoiti va Tuyamo‘yin suv omboriga tarixiy antropogen ta’sirlardan kelib chiqib, suv toshqinlari bo‘yicha ilmiy ish olib borgan olimlarning metod va natijalari bilan tizimli solishtiriladi. Nafaqat relyefida nishablik kam va iqlimi arid hududlarda, balki butun yer yuzida sodir bo‘lgan ayrim suv toshqinlarini o‘rganilgan natijalari, metodlari o‘rganish obyektida qo‘llashga qanchalik samarador ekanligi tahlil qilinadi.

Kalit so‘zlar: Tuyamo‘yin suv ombori, ehtimoliy toshqin, geografik axborot tizimi (GAT), masofadan zondlash, Sentinel-1 SAR, Sentinel-2, sun‘iy yo‘ldosh ma‘lumotlari, toshqin monitoringi, toshqin xaritalash, suv bosish hududi, raqamli relyef modeli (DEM), Quyi Amudaryo.

Аннотация. Данная статья основана на кратком обзоре центров, институтов и исследований, направленных на анализ катастрофических наводнений, возникших под воздействием природных и антропогенных факторов по всему миру. С учетом природно-географических условий территории Нижней Амударьи и исторических антропогенных воздействий на Туямуюнское водохранилище систематически сопоставляются методы и результаты ученых, проводивших исследования по проблемам наводнений. Также анализируется эффективность применения результатов и методов изучения отдельных наводнений, произошедших не только в районах с малым уклоном рельефа и аридным климатом, но и в различных регионах мира, к объекту данного исследования.

Ключевые слова: Туямуюнское водохранилище, вероятностное наводнение, географическая информационная система (ГИС), дистанционное зондирование Земли, Sentinel-1 SAR, Sentinel-2, спутниковые данные, мониторинг наводнений, картографирование зон затопления, затопленные территории, цифровая модель рельефа (ЦМР), Нижняя Амударья.

Abstract. This article is based on a brief review of research centers, institutes, and studies aimed at analyzing catastrophic floods caused by natural and anthropogenic factors

across the world. Considering the natural and geographical conditions of the Lower Amu Darya region and the historical anthropogenic impacts on the Tuyamuyun Reservoir, the methods and results of scientists who conducted research on floods are systematically compared. The study also analyzes the effectiveness of applying the results and methods used in the investigation of certain floods occurring not only in low-slope and arid climate regions, but also in different parts of the world, to the selected research object.

Keywords: Tuyamuyun Reservoir, potential flood, Geographic Information System (GIS), remote sensing, Sentinel-1 SAR, Sentinel-2, satellite data, flood monitoring, flood mapping, inundation area, Digital Elevation Model (DEM), Lower Amu Darya.

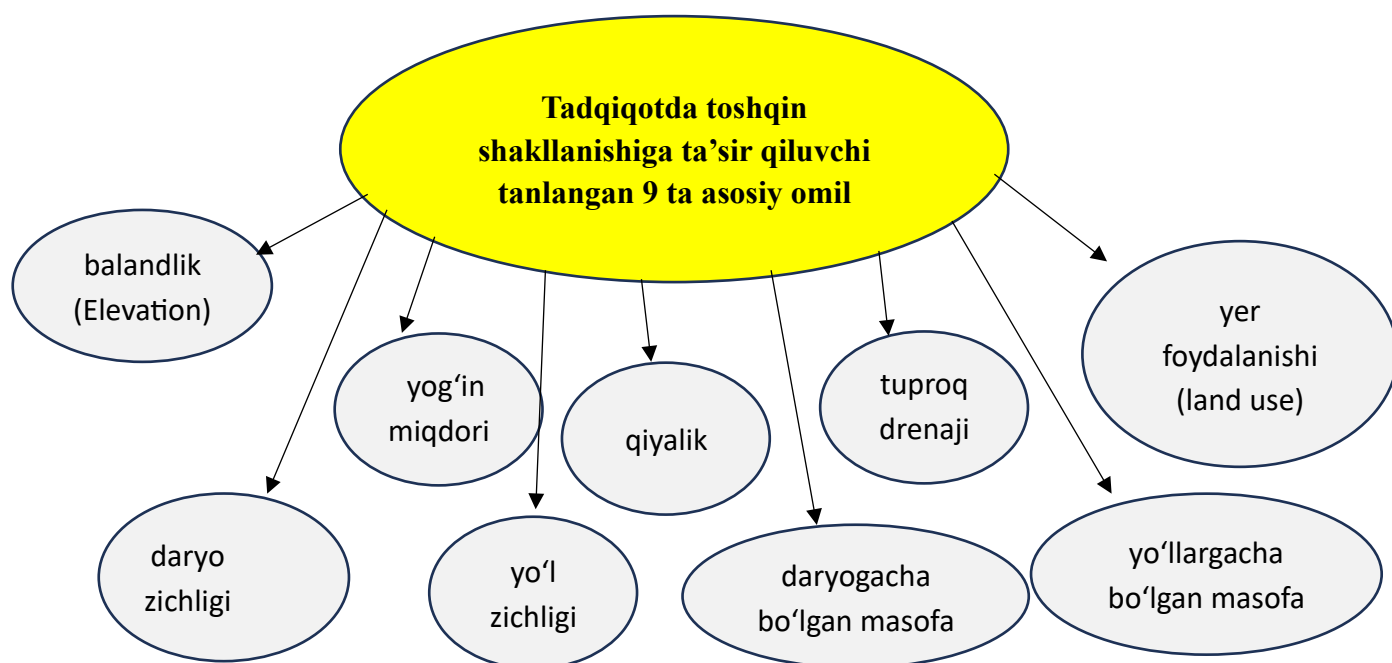
Kirish. Keyingi yillarda iqlim o'zgarishi, ekstremal gidrometeorologik hodisalarning ortishi hamda antropogen omillarning kuchayishi natijasida dunyoning ko'plab hududlarida suv toshqinlari soni va ko'lami sezilarli darajada oshmoqda. Bunday sharoitda suv toshqinlarini oldindan baholash, monitoring qilish hamda ehtimoliy suv bosish hududlarini aniq xaritalash favqulodda vaziyatlar xavfini kamaytirish, aholi va infratuzilmani muhofaza qilish hamda suv resurslarini samarali boshqarishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, geografik axborot tizimlari (GIS), masofadan zondlash texnologiyalari va yuqori aniqlikdagi raqamli relyef modellarining keng qo'llanilishi suv toshqinlarini tadqiq etish imkoniyatlarini yangi bosqichga olib chiqmoqda.[1]

Adabiyotlar tahlili orqali turli mamlakatlarda qo'llanilgan zamonaviy metodlar, foydalanilgan fazoviy ma'lumotlar, modellashtirish usullari hamda ularning afzallik va cheklovlari o'rganildi. Shu bilan birga, mazkur metodlarning Quyi Amudaryo hududi va Tuyamo'yin suv omborining tabiiy-geografik sharoitlariga qay darajada mos kelishi ilmiy nuqtayi nazardan baholandi.

Mazkur adabiyotlar sharhida toshqin xavfiga moyillikni baholash, monitoring qilish va xaritalashga bag'ishlangan so'nggi yillarda chop etilgan ilmiy maqolalar tahlil qilinadi. Har bir tadqiqotning ilmiy yangiligi, qo'llanilgan metodologiyasi, olingan natijalari hamda ularni Tuyamo'yin suv ombori hududida olib borilayotgan tadqiqotlarga moslashtirish imkoniyatlari yoritiladi. Ushbu tahlillar dissertatsiyada qo'llaniladigan metodologiyani ilmiy asoslash, mavjud yondashuvlarning afzallik va kamchiliklarini aniqlash hamda tadqiqotning ilmiy yangiligini shakllantirishga xizmat qiladi.

Asosiy qism. “Optimizing flood susceptibility mapping using GIS-based frequency ratio and analytic hierarchy process: A case study in Thailand” yani “Tailandiyada GIS asosidagi chastota nisbati va analitik ierarxiya jarayoni yordamida toshqin xavfiga moyillik xaritalashni optimallashtirish: amaliy tadqiqot” maqolasida (Mualliflar: Nanthaporn Usaard, Panuwit Boonnan, Jedsadaporn Nonbudsri, Komsan Kiriwongwattana, Sopa Cansee) GIS asosida toshqin xavfini baholashda FR (Frequency Ratio), RFR (Relative Frequency Ratio) va AHP (Analytic Hierarchy Process) metodlarini birgalikda qo‘llagan zamonaviy tadqiqotlardan biri hisoblanadi. Maqolaning asosiy maqsadi Tailandning Ubon Ratchathani hududida toshqin ehtimolini xaritalashtirish va qaysi metod yuqori aniqlik berishini aniqlashdan iborat.[1,4]

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, unda FR, RFR va AHP metodlari yagona GIS platformasida o‘zaro taqqoslangan hamda 2013–2023-yillardagi ko‘p yillik toshqin ma’lumotlari asosida model aniqligi baholangan.



Mualliflar avvalgi ishlardan farqli ravishda faqat bitta yil yoki qisqa muddatli ma’lumot emas, balki uzoq muddatli toshqin inventarizatsiyasidan foydalangan.

Mualliflar GIS muhiti orqali barcha qatlamlarni 30 metr fazoviy aniqlikda tayyorlagan. DEM asosida qiyalik, oqim yoʻnalishi, drenaj zichligi kabi parametrlar hisoblangan, CHIRPS yogʻin maʼlumotlari va tarixiy toshqin poligonlari esa modelning asosiy kirish maʼlumotlari sifatida ishlatilgan.

Natijalarga koʻra, AHP modeli eng yuqori aniqlikni koʻrsatgan ($AUC = 0.87$), undan keyin RFR (0.82) va FR (0.78) joylashgan. Bu esa ekspert bahosi va koʻp mezonli tahlil arid yoki murakkab gidrologik hududlarda oddiy statistik modellarga qaraganda yaxshiroq natija berishini koʻrsatadi.

Toshqin shakllanishida eng muhim omillar sifatida:

- yogʻin,
- balandlik,
- daryoga yaqinlik,
- qiyalik

asosiy omillar deb topilgan.

Maqola obyektining Quyi Amudaroga oʻxshash jihatlari mavjud.

Birinchidan, Quyi Amudaryo hududi ham Ubon Ratchathani kabi tekis relyefli pasttekislik hudud hisoblanadi. Shu sababli maqoladagi:

- elevation,
- slope,
- distance from streams,
- drainage,
- land use

kabi omillarni tanlash metodologiyasi Quyi Amudaryo uchun ham juda mos keladi.

Lekin maqoladagi ayrim metodlar toʻliq mos emas yoki moslashtirish talab qiladi. Masalan, Tailand hududi musson iqlimiga ega.

- Asosiy omil kuchli yogʻin hisoblanadi.
 - Quyi Amudaryoda esa toshqinlar koʻproq:
 - suv omboridan tashlama,
 - muz erishi,
 - yuqori oqimdan keladigan suv,
 - gidrotexnik boshqaruv,
 - daryo oʻzanining oʻzgarishi
- bilan bogʻliq.

Shu sababli Quyi Amudaryo hududida “rainfall” omili ustun boʻlmasligi mumkin.

Shuningdek, 30 metrlik SRTM DEM ishlatilgan. Tekis hududlarda bu aniqlik yetarli emasligi maqolaning o‘zida ham tan olingan.

Quyi Amudaryoda nishablik juda kichik bo‘lgani sababli 30 m DEM ko‘p xatolik beradi. Shu sabab ALOS PALSAR, LiDAR, UAV DEM, yoki yuqori aniqlikdagi topografik ma’lumotlar ishlatilishi kerak.

Mazkur metodlarni Quyi Amudaryoga moslashtirish uchun quyidagicha o‘zgartirishlar kiritish kerak bo‘ladi.

1. “Rainfall” omili o‘rniga: suv sarfi, suv omboridan tashlama hajmi, daryo sathi, muzlik erishi, upstream release kabi gidrologik parametrlarni qo‘shish.

2. “Distance from streams” bilan birga kollektor-drenaj tarmoqlari, eski o‘zanlar, sug‘orish kanallari ham hisobga olinishi kerak.

3. Land use qatlamida sho‘rlangan yerlar, sug‘oriladigan maydonlar, delta hududlari, botqoqlanish alohida klassifikatsiya qilinishi kerak.

4. FR va RFR metodlari tarixiy toshqin ma’lumotlariga juda bog‘liq bo‘lgani uchun Quyi Amudaryoda Sentinel-1 SAR, Landsat, MODIS asosida tarixiy suv bosish xaritalari tuzib olish kerak bo‘ladi.

Ushbu maqolaning yana bir muhim jihati — mualliflar model noaniqliklarini ham ochiq ko‘rsatganidir. Ayniqsa, DEM xatolari, yog‘in ma’lumotlari noaniqligi, ekspert subyektivligi, statik model cheklovlari haqida yozgani ilmiy jihatdan kuchli yondashuv hisoblanadi.

Yana bir *“Flood Susceptibility Modeling Using MCDA–AHP and Multitemporal Dynamics Analysis—Case Study: The Banat Hydrographic Area (Romania)”* tarjimasi *“CDA–AHP va ko‘p vaqtli dinamik tahlil asosida toshqin xavfiga moyillikni modellashtirish: Ruminiyaning Banat gidrografik hududi misolida”* (mualliflar: L. Copăcean, L. L. Cojocariu, C. A. Popescu, C. Bădăluță-Minda, A. Horablaga, T. Pisculidis va M. V. Herbei) maqolasida asosiy yangilik flood susceptibility (toshqinga moyillik)ni oddiy statik holatda emas, balki “multitemporal dynamic analysis” asosida, ya’ni vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan tizim sifatida baholashidir. Mualliflar 2005 va 2023-yillar uchun alohida ssenariylar yaratib, qaysi omillar toshqin xavfining o‘zgarishiga ta’sir qilganini GIS orqali tahlil qilgan.[2]

Maqolada MCDA–AHP (Multi Criteria Decision Analysis – Analytic Hierarchy Process) GIS bilan integratsiya qilingan. Tadqiqot Ruminiyaning Banat gidrografik hududida olib borilgan bo‘lib, u yerda tog‘li, depressiyali, tekis pasttekislik, daryo vodiylari birgalikda mavjud.

Bu bizning mavzu uchun muhim, chunki Quyi Amudaryo ham tekis va suv turib qolishga moyil hudud hisoblanadi.

Maqolaning asosiy ilmiy yangiliklari quyidagilardan iborat: “Flood susceptibility” statik emasligi isbotlangan, mualliflar avvalgi ko‘plab tadqiqotlarni tanqid qilib, toshqin xavfi ko‘pincha “bir martalik xarita” sifatida baholanishini noto‘g‘ri deb ko‘rsatgan. Ular: yog‘in, yer foydalanishi, land cover kabi omillar vaqt bo‘yicha o‘zgarishini hisobga olib, multitemporal model yaratgan.

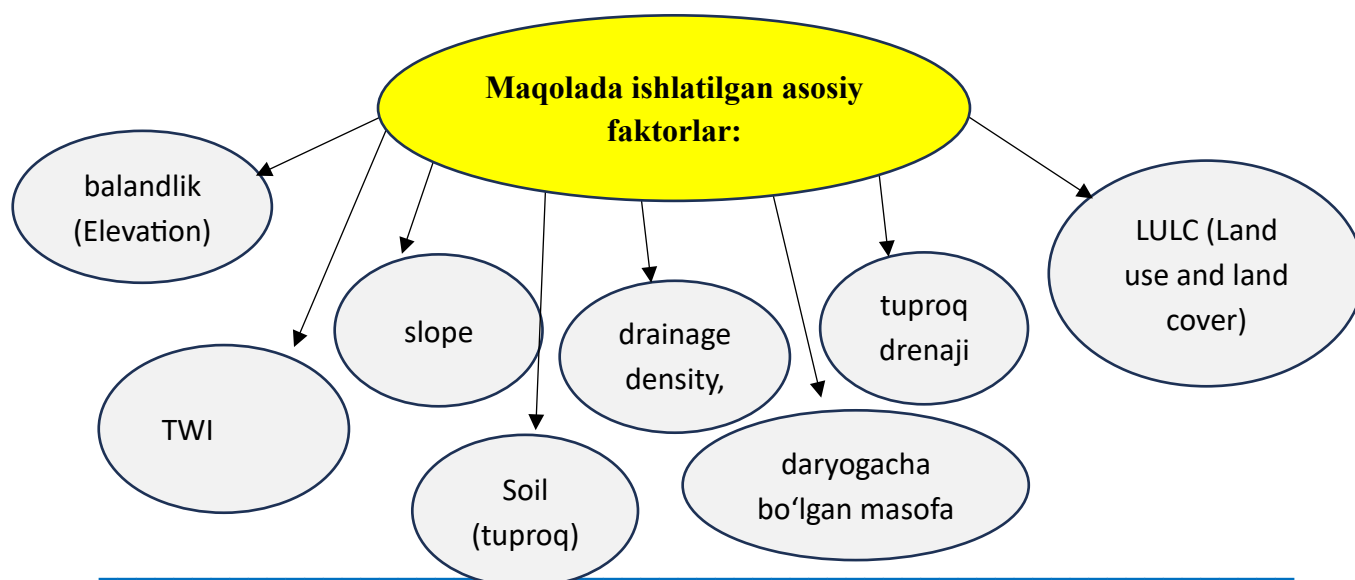
Maqoladagi yangilik Tuyamo‘yin suv omborini toshqinini baholash uchun juda kuchli nazariy asos bo‘la oladi. Chunki Tuyamo‘yin suv omborida ham suv tashlama rejimi, vegetatsiya, kanal tarmoqlari, sho‘rlanish, suv sathi doimiy o‘zgarib turadi.

Shuningdek, moqolada faktorlar ikki guruhga bo‘lingan:

Statik faktorlar:	Dinamik faktorlar:
elevation, slope, TWI, soil, drainage density.	precipitation, LULC (land use/land cover).

Bu juda muhim metodologik yondashuv hisoblanadi. Biz ham Quyi Amudaryoning toshqin hududini o‘rganish uchun shu 2 xil faktordan foydalanish mumkin va bu quyidagicha bo‘lishi mumkin.

Statik faktorlar:	Dinamik faktorlar:
relief, eski o‘zanlar, kollektor tarmoqlari, tuproq, geomorfologiya	suv sarfi, suv tashlama, vegetatsiya, NDVI, suv sathi, muzlik erishi, irrigatsiya mavsumi



Multitemporal GIS tahlili qoʻllagan mualliflar 2005-yil va 2023-yil FSI xaritalarini bir-biridan ayirib: $\Delta FSI = FSI_{2023} - FSI_{2005}$ formula orqali oʻzgarishlarni aniqlagan.[2]

Quyi Amudaryo hududining turli yillardagi suv bosish maydonlari, suv ombori tashlamalari, SAR tasvirlari asosida vaqt boʻyicha oʻzgarishlarni tahlil qilishimiz mumkin. Bu dissertatsiyangizni oddiy “bir martalik xarita”dan ilmiy monitoring tizimiga aylantiradi.

AHP orqali ogʻirlik koeffitsiyentlari aniqlangan: precipitation — 17.23%, distance from rivers — 15.73%, LULC — 14.12%, elevation — 13.40%. Ogʻirlik koeffitsienti bizning oʻrganish obyektimiz uchun ham muhim.

GIS va AHP (Analytic Hierarchy Process) tahlilida ogʻirlik koeffitsiyenti — bu har bir omilning tadqiqot natijasiga qanchalik taʼsir qilish darajasini bildiradi.

AHP usulida aniqlangan ogʻirlik koeffitsiyentlari har bir kriteriyning toshqin xavfiga nisbatan taʼsir darajasini ifodalaydi va ular GIS muhitida koʻp mezonli baholash jarayonida qoʻllaniladi.

Monitoring va xaritalashtirish nuqtayi nazaridan maqolaning eng kuchli tomoni — GIS orqali barcha qatlamlarning 25 m rezolyutsiyada ugʻunlashtirilgan.

DEM asosida slope, TWI, flow accumulation, drainage density hisoblangan. Yogʻin maʼlumotlari IDW interpolatsiya orqali uzluksiz sirtga aylantirilgan.

Model validatsiyasi ham juda kuchli bajarilgan. 2005-yil real flood inventory bilan tekshirilgan, flooded area ning 99% high/moderate susceptibility zonalarida chiqqan.

Bu bizning ishimiz uchun ham muhim, chunkii Sentinel-1 SAR, MODIS water, tarixiy suv bosish xaritalaribilan modelni tekshirishingiz kerak boʻladi. Maqolaning eng katta ilmiy hissasi — dynamic factor contribution analysis hisoblanadi.

Mualliflar aniqlashicha:

- precipitation oʻzgarishi — 95.44%
- LULC oʻzgarishi — 4.56% taʼsir qilgan.

Quyi Amudaryoda suv tashlama, irrigatsiya, daryo sathi, kollektorlar, bugʻlanish, vegetatsiyaqaysi biri dominantligini aniqlashingiz mumkin.

Ammo ushbu metodlarni Quyi Amudaryoga toʻgʻridan-toʻgʻri qoʻllash mumkin emas.

Chunki Banat hududi nam va tog‘li u yerda yog‘in, slope, mountain runoff asosiy omillar hisoblanadi.

Quyi Amudaryoda esa tekislik, arid iqlim, sun‘iy irrigatsiya, suv ombori boshqaruvi asosiy rol o‘ynaydi.

“Flood Susceptibility Modeling Using MCDA–AHP and Multitemporal Dynamics Analysis—Case Study: The Banat Hydrographic Area (Romania)” maqolasida hydrodynamic modeling ishlatmagan. Maqolada susceptibility model qo‘llanilgan.

Lekin Tuyamo‘yin suv ombori uchun: flood wave, water depth, velocity, inundation duration juda muhim.

Shu sabab HEC-RAS 2D, MIKE FLOOD, LISFLOOD-FP kabi modellar kerak bo‘ladi.

Oldingi maqola sharhida aytganimizdek, 25 m DEM tekis hudud uchun yetarli emas. Quyi Amudaryoda nishablik juda kichik bo‘lib, 1–2 metr xato ham katta farq beradi.

Shuning uchun LiDAR, UAV DEM, ALOS PALSAR, yuqori aniqlikdagi topografik model kerak bo‘ladi.

Distance from rivers yetarli emas, Quyi Amudaryoda kollektorlar, sug‘orish kanallari, eski delta o‘zanlari, sun‘iy drenaj tizimlar ham flood pathway hisoblanadi. Shuning uchun daryo masofasi bilan cheklanib bo‘lmaydi.

Mazkur metodni Quyi Amudaryoga moslashtirish uchun

- Precipitation o‘rniga – discharge, reservoir release, water level, upstream inflow qo‘shish kerak.
- TWI ni tekis hududga moslashtirish zarur. Oddiy TWI tekislikda noto‘g‘ri natija berishi mumkin.
- SAR monitoring juda muhim: Sentinel-1, radar inundation mapping ishlatilishi kerak.
- LULC ga sho‘rlanish, botqoqlanish, irrigatsiya, qamishzor, delta ekotizimlari qo‘shilishi kerak.
- Multitemporal analysis ni: suv ombori rejimlari, mavsumiy suv sarfi, qurg‘oqchilik davrlari bilan bog‘lash kerak.

Tahlil qilingan 3-maqola “Large-scale flood susceptibility mapping along major tributaries of the Nile River system in Sudan using convolutional neural network” maqolasi (Mualliflar: Musaab A. A. Mohammed, Abdelrhim Eltijani, Norbert P. Szabó, Péter Szűcs) oldingilaridan qimmatliroq.[3]

Sababi:

- tadqiqot hududi Sudan — Quyi Amudaryo kabi arid va yarim arid hudud;
- daryo toshqinlari bo'yicha olib borilgan;
- tekis allyuvial vodiylar ustida ishlangan;
- GIS + Remote Sensing + Deep Learning (CNN) dan foydalangan;
- tarixiy flood inventory ishlatilgan;
- aynan flood susceptibility mapping bajarilgan.

Bu jihatlari bilan u oldingi tahlildagi Tayland yoki Ruminiya maqolalariga qaraganda Tuyamo'yin sharoitiga ancha yaqin.

Mazkur maqolada Sudan hududidagi Nil daryosi tizimining asosiy irmoqlari bo'ylab toshqin xavfiga moyillikni (Flood Susceptibility Mapping) baholash uchun sun'iy intellektning chuqur o'rganish (Deep Learning) usullaridan biri bo'lgan Convolutional Neural Network (CNN) modeli GIS va masofadan zondlash ma'lumotlari bilan integratsiyalashgan holda qo'llanilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi Sudan hududida katta maydonlarni qamrab oluvchi yuqori aniqlikdagi toshqin xavfi xaritasini yaratish hamda CNN modelining ushbu turdagi geofazoviy masalalarni yechishdagi samaradorligini baholashdan iborat.

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, unda Sudan uchun ilk bor yirik hududni qamrab oluvchi CNN asosidagi flood susceptibility modeli ishlab chiqilgan. Avvalgi ko'plab tadqiqotlarda AHP, Frequency Ratio, Logistic Regression yoki Random Forest kabi metodlardan foydalanilgan bo'lsa, ushbu maqolada murakkab fazoviy bog'liqliklarni avtomatik aniqlash imkoniyatiga ega bo'lgan Deep Learning texnologiyasi qo'llanilgan. Bundan tashqari, mualliflar model natijalarini izohlash maqsadida Permutation Feature Importance usulidan foydalanib, har bir omilning yakuniy natijaga ta'sir darajasini ham baholagan. Bu

esa chuqur o'rganish modellarining "qora quti" (black box) xususiyatini ma'lum darajada izohlash imkonini beradi.

Tadqiqotda barcha fazoviy ma'lumotlar 30 metr fazoviy aniqlikda yagona GIS platformasiga keltirilgan. Modelni yaratishda toshqin shakllanishiga ta'sir qiluvchi 12 ta asosiy omil tanlangan:

- balandlik (Elevation);
- qiyalik (Slope);
- relyef egriligi (Curvature);
- Topographic Wetness Index (TWI);
- drenaj zichligi (Drainage Density);
- daryogacha bo'lgan masofa (Distance to Stream);
- Stream Power Index (SPI);
- yog'in miqdori (Rainfall);
- litologiya (Lithology);
- NDVI;
- yer qoplamasi (Land Cover);
- yo'llargacha bo'lgan masofa (Distance to Roads).

Modelni o'qitishda 2010–2022-yillar oralig'ida kuzatilgan tarixiy toshqin poligonlari asosida 1820 ta toshqin nuqtasi va shuncha miqdordagi toshqin kuzatilmagan nuqtalar shakllantirilgan. CNN modeli TensorFlow va Keras platformalarida ishlab chiqilgan bo'lib, 5 marta (Five-fold) Cross Validation orqali tekshirilgan. Natijalarga ko'ra model $AUC = 0.974$, $F1\text{-score} = 0.96$ va umumiy aniqligi 97 % ni tashkil qilgan. Bu natijalar CNN modelining toshqin ehtimolini baholashda juda yuqori aniqlikka ega ekanligini ko'rsatadi.[3]

Tadqiqot natijalariga ko'ra eng yuqori toshqin xavfi Nil daryosining asosiy o'zanlariga yaqin joylashgan allyuvial tekisliklarda, Xartum tutashuv hududida hamda Jazirah va Sennar viloyatlarida kuzatilgan. Model past balandlik, kichik nishablik, yuqori TWI qiymati va daryoga yaqin hududlarni eng xavfli zonalar sifatida aniqlagan. Shu bilan birga, CNN modeli murakkab fazoviy bog'liqliklarni

автоматик aniqlash orqali an'anaviy statistik modellarga nisbatan yuqori aniqlikni namoyish etgan.

Mazkur maqola obyektining Quyi Amudaryo bilan o'xshash jihatlari juda ko'p. Birinchidan, Sudan hududining katta qismi ham Quyi Amudaryo singari yarim arid va arid iqlim sharoitiga ega. Ikkinchidan, Nil daryosi vodiysi ham allyuvial tekisliklardan iborat bo'lib, relyef nishabligi juda kichik. Bu esa suvning uzoq vaqt davomida hududda saqlanib qolishiga sabab bo'ladi. Shuningdek, har ikkala hududda ham daryo toshqinlari aholi punktlari, sug'oriladigan qishloq xo'jaligi maydonlari va muhim infratuzilmalarga katta xavf tug'diradi. Shu sababli maqolada qo'llanilgan CNN modeli, tarixiy toshqin inventarizatsiyasi hamda GIS asosidagi fazoviy tahlil metodologiyasi Quyi Amudaryo hududini o'rganishda ham muhim ilmiy asos bo'la oladi.

Lekin maqoladagi ayrim metodlarni Quyi Amudaryoga to'liq qo'llab bo'lmaydi yoki ular ma'lum darajada moslashtirilishi zarur. Sudan hududida toshqinlarning asosiy sababi Efiopiya tog'larida kuzatiladigan musson yog'inlari va Nil daryosining mavsumiy suv sarfi hisoblanadi. Quyi Amudaryoda esa toshqinlar, asosan:

- Tuyamo'yin suv omboridan tashlanadigan suv hajmi;
- yuqori oqimdan keladigan suv sarfi;
- gidrotexnik inshootlarning boshqaruv rejimi;
- irrigatsiya va kollektor-drenaj tizimlari;
- Amudaryo o'zanining morfologik o'zgarishlari

bilan chambarchas bog'liq. Shu sababli maqoladagi Rainfall omili Quyi Amudaryo uchun asosiy omil bo'la olmaydi.

DEM ta'siri. Shuningdek, tadqiqotda 30 metrli SRTM DEM ishlatilgan. Bunday fazoviy aniqlik tekis relyefli Quyi Amudaryo hududida yetarli natija bermasligi mumkin. Chunki tekis hududlarda balandlikdagi hatto 1–2 metr farq ham suv bosish maydonlarining shakllanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu

sababli Quyi Amudaryo uchun ALOS PALSAR, LiDAR, UAV DEM yoki yuqori aniqlikdagi topografik modellarni qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi.

Mazkur metodologiyani Tuyamo'yin suv omborining ehtimoliy toshqinini o'rganishga moslashtirish uchun quyidagi o'zgartirishlarni kiritish zarur:

1. Rainfall omili o'rniga suv omboridan tashlama hajmi (Reservoir Release), daryo suv sarfi (Discharge), suv sathi (Water Level) hamda yuqori oqimdan kelayotgan suv hajmi (Upstream Inflow) kiritilishi lozim.
2. Distance to Stream bilan bir qatorda kollektor-drenaj tarmoqlari, sug'orish kanallari, eski Amudaryo o'zanlari va sun'iy suv yo'llari ham alohida fazoviy qatlam sifatida hisobga olinishi kerak.
3. Land Cover qatlamiga sug'oriladigan yerlar, sho'rlangan maydonlar, botqoqlashgan hududlar, delta ekotizimlari va qamishzorlar alohida sinflar sifatida qo'shilishi maqsadga muvofiq.
4. Tarixiy toshqin inventarizatsiyasini yaratishda Sentinel-1 SAR, Landsat, MODIS Water ma'lumotlari asosida turli yillardagi suv bosish maydonlari aniqlanishi kerak.
5. CNN modeli natijalarini yanada ishonchli qilish uchun ularni HEC-RAS 2D, MIKE FLOOD yoki LISFLOOD-FP kabi gidrodinamik modellar natijalari bilan o'zaro taqqoslash tavsiya etiladi.

Avval tahlil qilingan Tailand va Ruminiya tadqiqotlaridan farqli ravishda, ushbu maqolada AHP yoki statistik modellardan emas, balki chuqur o'rganishga asoslangan CNN modeli qo'llanilgan. Bu model fazoviy omillar o'rtasidagi murakkab nolinear bog'liqliklarni avtomatik aniqlashi bilan ajralib turadi.

Markaziy Osiyo sharoitidagi suv toshqinlari haqidagi maqolalarni tahlil qilsak, "Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari asosida Sardoba suv ombori toshqinini o'rganish masalalari" maqolasi tahlilida (Mualliflar: M.J. Matchanov, S.J. Abdireimov, T.O. Matjonov) Oldingi tahlil qilingan Tailand, Ruminiya va Sudan tadqiqotlaridan farqli ravishda toshqin xavfiga moyillikni (Flood Susceptibility) modellashtirishga emas, balki real sodir bo'lgan texnogen suv toshqinini

masofadan zondlash ma'lumotlari asosida tezkor baholash va xaritalashtirishga qaratilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi Sentinel sun'iy yo'ldoshlari ma'lumotlari yordamida Sardoba suv ombori avariya natijasida suv bosgan hududlarni aniqlash hamda zarar ko'lamini baholashdan iborat.[4]

Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi shundaki, unda bir nechta sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari yagona GIS muhitida integratsiyalangan. Mualliflar Sentinel-1A SAR, Sentinel-2A, Sentinel-3 OLCI, SRTM, Google Earth va OpenStreetMap ma'lumotlarini o'zaro uyg'unlashtirib, texnogen toshqin oqibatlarini qisqa vaqt ichida baholash metodologiyasini ishlab chiqqanlar. Ayniqsa, bulutlilik sababli optik tasvirlar cheklangan sharoitda Sentinel-1A radar tasvirlaridan foydalanish ushbu tadqiqotning eng muhim afzalliklaridan biri hisoblanadi.

Mazkur maqolaning Tuyamo'yin suv ombori bilan o'xshash jihatlari juda katta. Birinchidan, har ikkala obyekt ham O'zbekistonning arid hududlarida joylashgan yirik suv omborlari hisoblanadi. Ikkinchidan, toshqinlar tabiiy yog'inlardan emas, balki gidrotexnik inshoot bilan bog'liq favqulodda vaziyatlar yoki suv tashlama rejimlari natijasida yuzaga kelishi mumkin. Uchinchidan, ikkala hududda ham relyef nishabligi kichik bo'lib, suvning tekislik bo'ylab keng maydonga tarqalish ehtimoli yuqori. Shu sababli Sentinel-1 SAR tasvirlari yordamida suv bosgan hududlarni aniqlash metodologiyasi Tuyamo'yin suv omborining ehtimoliy toshqin monitoringida ham bevosita qo'llanilishi mumkin.

Biroq maqoladagi metodologiyani Tuyamo'yin suv omboriga to'liq ko'chirib bo'lmaydi. Tadqiqot faqat real sodir bo'lgan toshqin oqibatlarini xaritalashga qaratilgan bo'lib, unda ehtimoliy toshqin modellashtirilmagan. Shuningdek, maqolada AHP, CNN, Random Forest yoki boshqa sun'iy intellekt modellari qo'llanilmagan. Gidrodinamik modellashtirish (HEC-RAS 2D, MIKE FLOOD, LISFLOOD-FP) ham amalga oshirilmagan. Shu sababli tadqiqot xavfni oldindan baholash emas, balki sodir bo'lgan ofatni tezkor tahlil qilish imkonini beradi.

Mazkur metodologiyani Tuyamo'yin suv omboriga moslashtirish uchun quyidagi o'zgartirishlarni kiritish maqsadga muvofiq:

1. Sentinel-1 SAR ma'lumotlari faqat real toshqinlarni aniqlash emas, balki turli yillardagi suv bosish xaritalarini yaratish va tarixiy Flood Inventory bazasini shakllantirishda qo'llanilishi kerak.
2. SRTM o'rniga yuqori aniqlikdagi ALOS PALSAR, LiDAR yoki UAV DEM ma'lumotlaridan foydalanish tavsiya etiladi, chunki Quyi Amudaryoda nishablik juda kichik.
3. Sentinel ma'lumotlari HEC-RAS 2D, MIKE FLOOD yoki LISFLOOD-FP modellarini kalibrlash va validatsiya qilish uchun ishlatilishi mumkin.
4. Sardoba tadqiqotidagi kanal va drenaj tarmoqlari tahlili Tuyamo'yin hududida kollektor-drenaj tizimlari, eski Amudaryo o'zanlari hamda sug'orish kanallari bilan to'ldirilishi zarur.
5. Real monitoring bilan bir qatorda suv omboridan tashlama hajmi, suv sathi, suv sarfi va yuqori oqimdan kelayotgan suv miqdori kabi gidrologik parametrlar ham modelga kiritilishi lozim.

Ushbu maqolaning yana bir muhim jihati shundaki, u Sudan maqolasini amaliy jihatdan to'ldiradi. Sudan tadqiqotida CNN yordamida ehtimoliy toshqin hududlari prognoz qilingan bo'lsa, Sardoba maqolasida Sentinel-1 radar tasvirlari yordamida real suv bosgan hududlar aniqlangan. Ushbu ikki yondashuvni birlashtirish orqali Tuyamo'yin suv ombori uchun "prognozlash (CNN yoki boshqa model) + real vaqt monitoringi (Sentinel-1 SAR)" ga asoslangan kompleks GIS tizimini ishlab chiqish mumkin. Aynan shunday integratsiyalashgan yondashuv dissertatsiyangizning ilmiy yangiligini sezilarli darajada oshirishi mumkin.

Xulosa. Tahlil qilingan Tailand, Ruminiya va Sudan hududlarida olib borilgan tadqiqotlar turli tabiiy-geografik sharoitlarda toshqin xavfini baholashning zamonaviy yondashuvlarini namoyon etdi. Ushbu ishlarda AHP, Frequency Ratio, MCDA, CNN kabi modellashtirish usullari hamda Sentinel va Landsat sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan samarali foydalanilgan. Biroq mazkur metodlarni Quyi

Amudaryo hududi va Tuyamo‘yin suv ombori sharoitiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘llash maqsadga muvofiq emasligi aniqlandi. Chunki tadqiqot hududi arid iqlim, tekis relyef, murakkab irrigatsiya va kollektor-drenaj tarmoqlari hamda suv omborining boshqaruv rejimi bilan tavsiflanadi.[4]

Mahalliy tajribalar, xususan Sardoba suv ombori toshqini bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar Sentinel-1 SAR ma‘lumotlarining real vaqt monitoringi va suv bosgan hududlarni tezkor aniqlashdagi yuqori samaradorligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, ushbu metodologiyalarni gidrodinamik modellashtirish hamda yuqori aniqlikdagi raqamli relyef ma‘lumotlari bilan uyg‘unlashtirish orqali yanada ishonchli natijalarga erishish mumkinligi asoslandi.

O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili natijasida dissertatsiya tadqiqotida foydalaniladigan metodologik yondashuv shakllantirildi. Jumladan, GIS texnologiyalari, Sentinel-1 va Sentinel-2 sun‘iy yo‘ldosh ma‘lumotlari, raqamli relyef modeli, tarixiy suv bosish ma‘lumotlari hamda gidrologik ko‘rsatkichlarni kompleks tahlil qilish orqali Tuyamo‘yin suv omborining ehtimoliy suv toshqini hududlarini aniqlash va xaritalashning ilmiy asoslari belgilab olindi. Mazkur yondashuv tadqiqotning keyingi bosqichlarida ehtimoliy suv toshqinlarini modellashtirish, monitoring qilish va xavf hududlarini baholash bo‘yicha ishonchli ilmiy natijalarni olishga xizmat qiladi.[5]

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Usaard N., Boonnan P., Nonbudsri J., Kiriwongwattana K., Cansee S. *Optimizing Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process: A Case Study in Thailand* // **Journal of Hydrology: Regional Studies**. – 2026. – Vol. 65. – Art. 103494. – DOI: 10.1016/j.ejrh.2026.103494.
2. Copăcean L., Cojocariu L.L., Popescu C.A., Bădăluță-Minda C., Horablaga A., Pisculidis T., Herbei M.V. *Flood Susceptibility Modeling Using MCDA–AHP and Multitemporal Dynamics Analysis—Case Study: The Banat Hydrographic Area (Romania)* // **Land**. – 2026. – Vol. 15, No. 5. – Art. 724. – DOI: 10.3390/land15050724.
3. Mohammed M.A.A., Eltijani A., Szabó N.P., Szűcs P. *Large-scale Flood Susceptibility Mapping along Major Tributaries of the Nile River System in Sudan Using Convolutional Neural Network* // **Scientific Reports**. – 2026. – Vol. 16. – Article 58194. – DOI: 10.1038/s41598-026-58194-7.
4. Matchanov M.J., Abdireimov S.J., Matjonov T.O'. **Sun'iy yo'ldoshlar ma'lumotlari asosida Sardoba suv ombori toshqinini o'rganish masalalari** // *Life Sciences and Agriculture*. – 2020. – № 2. – B. 20–27. – DOI: 10.24411/2181-0761/2020-10015.

5. Usaard N. va boshq.; Copăcean L. va boshq.; Mohammed M.A.A. va boshq.; Matchanov M.J. va boshq.