Amudaryoning Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmining 2027-yil uçun ehtimoliy prognozi

Ruslan Jumabayev*, Muzaffar Matchanov, Otabek Matchanov, Murodjon O‘ktamov
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti
✉ jumaboyevrr@gmail.com

ANNOTATSIYA

Kerki gidropostidagi 2004 – 2025-yillar aprel-sentabr oylaridagi suv oqimi hajmi Google Earth Engine cloud-platformasi yordamida Markaziy Osiyo davlatlari uçun suv taqsimoti (MKVK), ERA5-Land va MODIS ma’lumotlari asosida örganildi va buning uçun 9 ta gidroiqlimiy omil qöllanildi. Unga köra suv oqimiga eng kuçli boğliqlikni 2000 m dan baland hududdagi qişki yoğin körsatdi ($r = 0,87$; $p < 0,001$). Tadqiqotda qişki yoğinga asoslangan bir omilli model yuqori natijani berdi va uning natijalari maqolada keltirildi. Uning başorat xatosi 4,2 km³ ($R^2cv = 0,68$), 2017–2025 mustaqil davrida esa 3,2 km³ böldi. Hisobga köra 2027-yil Kerki kesimidagi aprel-sentabr suv oqimi hajmining medianasi 44,7 km³ (10–90%: 34,5–54,8 km³), normadan past böliş ehtimoli 64%ga teng.

Kalit so‘zlar

Kerki, mavsumiy suv oqimi prognozi, qişki yoğin, ERA5-Land, LOOCV.

DOI: 10.5281/zenodo.24467064

1. Kiriş

Amudaryo Markaziy Osiyoning eng yirik daryosi bölib, uning suv oqimi asosan Pomir, Hindukuş va Hisor-Oloy toğlarida şakllanadi. Havzaning 2000 m dan baland qismida hosil böladigan suv oqimining taxminan 65% mavsumiy qor erişidan, 3% muzlik ustidagi qordan, 8% oçiq muzlik muzidan va qolgan 24% yomğirdan iborat (Armstrong va boşq., 2019). Demak, daryoning quyi suv oqimiga yetib keladigan suvning katta qismi toğlardagi qor va muz zaxirasiga boğliq.

Amudaryoning quyi suv oqimidagi hududlar, jumladan Xorazm viloyati, suğoriş suvini undan olganligi sababli toğlarda qişda töplangan yoğin bir neça oydan söng quyi suv oqimiga yetib boradigan suv hajmiga ta'sir qiladi. 2025-2026 suv yili qişida Kerki kesimidagi suv oqimi normaning 66,8% ini taşkil etgan (MKVK hisobotlari). Bundan taşqari, muzliklar hajmining ham kamayişi tezlaşgani aniqlangan (Hugonnet va boşq., 2021), bu esa kelgusida suv oqimi bilan boğliq noaniqliklarni oşiradi.

Uşbu işda faqat ölçangan ma'lumotlarga tayaniladi va Kerki gidropostida olingan aprel–sentabr suv oqimi hajmi, unga ta’sir qiluvçi omillar qayta tahlil qilindi hamda sun'iy yöldoş ma'lumotlariga tayanildi. Xorazm viloyatining özi böyiça rasmiy köp yillik foydalanilgan suv hajmi ma’lumotlari topilmaganligi sababli viloyatning suv oliş uluşi alohida hisoblanmadi.

Tadqiqotning maqsadi faqat oçiq ma'lumotlar asosida, ularni sun’iy yöldoş ma’lumotlari asosida qayta tekşirgan holda, 2027-yil uçun Kerki gidropostida aprel–sentabr suv oqimi hajmining va quyi suv oqimidagi Özbekiston hududlariga yetadigan suvning ehtimoliy prognozini berişdan iborat.

2. Adabiyotlar şarhi

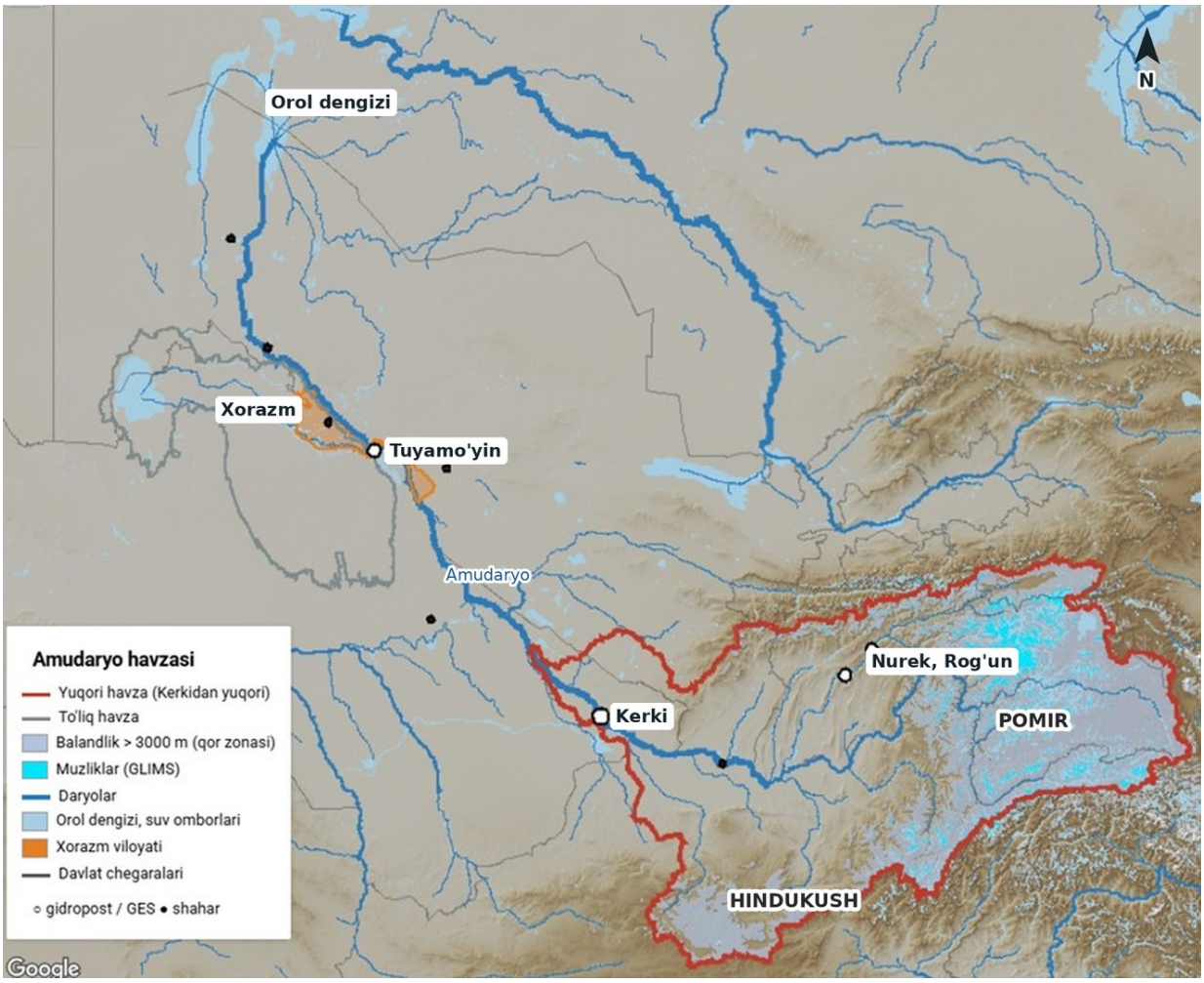
Markaziy Osiyoga suv beruvçi daryolarining qor va muzga boğliqligi keng örganilgan. Immerzeel va boşq. (2010) Osiyoning yirik daryolari uçun qor va muz erişining ahamiyatini baholab, iqlim özgarişi aholining suv ta'minotiga jiddiy ta'sir körsatişini örgangan. Armstrong va boşq. (2019) MODIS ma'lumotlari va turli modellar yordamida suv oqimini qor va muz manbalariga ajratgan. Ularga köra, Amudaryo uçun mavsumiy qor uluşi ustun, muzlik suvlarning uning suv oqimidagi uluşi esa 10% dan kam. Şunga qaramasdan muzliklarning uluşi kam suvli yillarda ortadi. Pohl va boşq. (2017) Pomirda muzlik erişi qurğoqçil yillarda yillik suv oqimini qöşimça sifatida qöllab-quvvatlaşini körsatgan. Keyingi tadqiqotlarda Hugonnet va boşq. (2021) 2000–2019 yillarda muzliklar massa yöqotişi tezlaşganini aniqlagan.

Mavsumiy suv oqimi prognozi böyiça Barlow va Tippett (2008) Markaziy Osiyo daryolarining aprel–sentabr suv oqimi hajmi oldingi qişdagi yoğin bilan kuçli boğlanganini va şu sababli bir mavsum oldingi suv hajmi holatini qisman başorat qilinişini körsatgan.

3. Materiallar va metodlar

3.1. Tadqiqot hududi

Tadqiqot hududi Amudaryo havzasining Kerki gidropostidan yuqoridagi qismini (asosan Panj va Vaxş havzalari) qamrab oladi (1-rasm). Havza çegarasi HydroŞEDS ma’lumotlar bazasining 6-daraja havzalari (WWF/HydroŞEDS/v1/Basins/hybas_6; Lehner va Grill, 2013) böyiça Kerki nuqtasidan yuqoriga qarab “Next-Down” usulida aniqlandi. Havzaning şu qismining maydoni 302 865 km². Gidroiqlimiy omillar havzaning 2000 m dan baland qismi uçun hisoblandi. Balandlik zonalari: z1 – 2000-3000 m, z2 – 3000-4000 m, z3 – 4000-5000 m, z4 – 5000 m dan baland.



1-rasm. Amudaryo havzasi: Kerkidan yuqoridagi havza (GLIMS Consortium, 2005).

3.2. Ma'lumotlar

Tadqiqotda faqat oçiq manbalardan foydalanildi (1-jadval). Tayanç (referense) ma’lumotlar Kerki gidropostidagi aprel-sentabr suv oqimi hajmi bölib, 2004–2017 yillar uçun MKVK axborot byulletenlaridan olindi. Byulletenning har yilgi birinçi soni oldingi vegetatsiya yakunidagi suv hajmini beradi. 2018–2024 yillar uçun suv hajmi NIC MKVK analitik ma'lumotnomasi va SIC ICWC yilnomalaridan (NIC MKVK, 2018–2025), 2025-yil uçun esa NIC MKVK vegetatsiya davri analitik hisobotidan yiğildi. 2001–2003 yillar uçun oçiq manbada raqamlar topilmadi. MKVK qabul qilgan aprel-sentabr (vegetatsiya davri) normasi 47,6 km³, 2004–2025 yillardagi örtaça qiymat 43,8 km³ (standart oğiş 7,7 km³). Modelda işlatilgan ma’lumotlarning davriy xususiyatlari 2-jadvalda töliq keltirilgan.

1-jadval.

Tadqiqotda foydalanilgan ma'lumotlar

Ma'lumot	Manba (GEE identifikatori)	Davr	Holati
Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi	MKVK byulletenlari, yilnomalari va analitik hisobotlari	2004–2025	Dala tadqiqotlarida ölçangan
Yoğin, qor yoğişi, harorat, SWE, tuproq namligi	ERA5-Land (ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR), 0,1°; hisob şkalasi 5 km	2003–2025	Qayta hisoblangan
Qor qoplami (NDSI ≥ 0,4) va qor albedosi	MODIS MOD10A1/MYD10A1 v6.1 (MODIS/061/…), 500 m; hisob şkalasi 1 km	2004–2025	Sun'iy yöldoş
Mavsumiy prognoz	C3S ECMWF SEAS5, 51-tizim, 1-oktabr prognozlari: 1993–2016 retrospektiv (25 a'zo), 2017–2026 operativ (51 a'zo); ansambl örtaçasi (C3S, 2026)	1993-10 → 2027-03	Prognoz
Quyi suv oqimidagi Özbekiston (Xorazm va Qoraqalpoğiston) suv olişi, aprel–sentabr: reja va fakt	NIC MKVK vegetatsiya davri analitik hisobotlari (NIC MKVK, 2007–2026)	2009–2026	Dala tadqiqotlarida ölçangan

2-jadval.

Modelning dastlabki ma'lumotlari: Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi, 2000 m dan baland hudud-dagi oktyabr–mart yoğini (ERA5-Land) va modelning başorati

Yil	Q_veg, km³	P_qiş, mm	Başorat (Bittadan çiqarib tekşiriş), km³
2004	45,10	365,5	46,1
2005	57,19	398,5	49,3
2006	42,65	357,5	45,2
2007	41,34	365,9	46,4
2008	27,13	263,8	35,2
2009	46,26	379,2	47,8
2010	59,92	422,0	51,7
2011	32,30	260,4	33,8
2012	53,28	452,7	57,3
2013	38,48	303,2	38,7
2014	42,44	276,6	34,6
2015	52,48	399,4	49,9
2016	40,54	320,2	40,7
2017	51,33	444,1	56,4
2018	37,11	292,1	37,4
2019	46,62	362,9	45,7
2020	37,32	278,1	35,5
2021	40,56	345,4	43,8
2022	40,70	334,4	42,5
2023	42,88	355,6	45,0
2024	43,28	299,1	37,7
2025	43,64*	336,4	42,6

* 2025-yil suv hajmi qiymati qiymati NIC MKVK ning 2025-yil vegetatsiya davri analitik hisobotidan olingan. 2008-yil qiymati MKVK byulletenidagi normaga nisbatan foizdan (57%) hisoblangan. Öşa yilgi analitik hisobotdagi 22,6 km³ Nurek suv omboriga töplangan suvni (~3,5 km³) öz içiga olmaydi va şu sababli uni boşqa yillar bilan soliştirib bölmaydi.

3.3. Omillarni hisoblaş

Tanlangan omillar Google Earth Engine (Gorelick va boşq., 2017) Python API orqali hisoblandi va 2000 m dan baland hudud hamda undan yuqoridagi zonalar böyiça maydon örtaçasi olindi. ERA5 sun’iy yöldoşining quruqlikdagi kunlik ma’lumotlaridan:

- oktabr–mart yoğin (total_precipitation_sum) va qor yoğişi (snowfall_sum) yiğindisi;
- qor suv ekvivalenti (SWE (Qor-suv ekvivalenti), snow_depth_water_equivalent): 1-mart va 1-aprelda 2000 m dan baland hudud;
- mart–may va iyun–avgust örtaça harorati (temperature_2m);
- qor ustiga tuşgan yomğir (mart–iyun; suyuq yoğin ≥ 5 mm/kun va SWE ≥ 10 mm bölgan kunlar yiğindisi);
- oldingi oktabr–noyabrdagi 0–100 sm qatlam tuproq namligi (mm) kabilar tahlilda qöllandi.

MODIS sun’iy yöldoşidan (Hall va Riggs, 2021) Terra va Aqua kunlik NDSI_Snow_Cover ≥ 40 bölgan piksellar böyiça mart oyidagi qor qoplami maydoni, mart–aprel qor indeksi va Snow_Albedo_Daily_Tile böyiça mart albedosi ma’lumotlari olindi.

3.4. Regressiya modeli va uni tekşiriş

Avval har bir omilning aprel–sentabr suv oqimi hajmi bilan Pirson korrelyatsiyasi va uning ahamiyatlilik darajasi (p) hisoblandi. Model tanlaş natijasida bir omilli çiziqli model olindi:

$$Q_{veg} = \beta_0 + \beta_1 \cdot P_{qiş} + \varepsilon \quad (1)$$

bu yerda Q_{veg} – Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi (km³), $P_{qiş}$ – 2000 m dan baland hududdagi oktabr–mart yoğini (mm), ε – qoldiq. Koeffitsientlar eng kiçik kvadratlar usulida baholandi; ularning standart xatosi, t-statistikasi, 95% işonç oraliği va 5000 marta takrorlangan işonç oraliği hisoblandi. Qoldiqlar normal taqsimot, avtokorrelyatsiya, geteroskedastiklikka va vaqt böyiça trendga tekşirildi.

Model aniqligi uç bosqiçda baholandi:

(a) Bittadan çiqarib tekşiriş (Nested Leave-One-Out Cross-Validation-LOOCV): har bir yil çiqarib qöyiladi, keyin model qolgan 21 yil ma’lumotlaridan foydalanadi va oldindan ma’lum bölgan yil başorat qilinadi:

$$\mathrm{RMSE} = [\Sigma(Q_i - \hat{Q}_{-i})^2 / n]^{1/2},\ R^2_{cv} = 1 - \Sigma(Q_i - \hat{Q}_{-i})^2 / \Sigma(Q_i - \bar{Q})^2 \quad (2)$$

bu yerda $\hat{Q}_{-i}$ – i-yil çiqarib turilgan model başorati. Natija iqlimiy başorat (boşqa yillar örtaça suv hajmi) bilan soliştirildi: $SS = 1 - RMSE^2/RMSE^2_{klim}$.

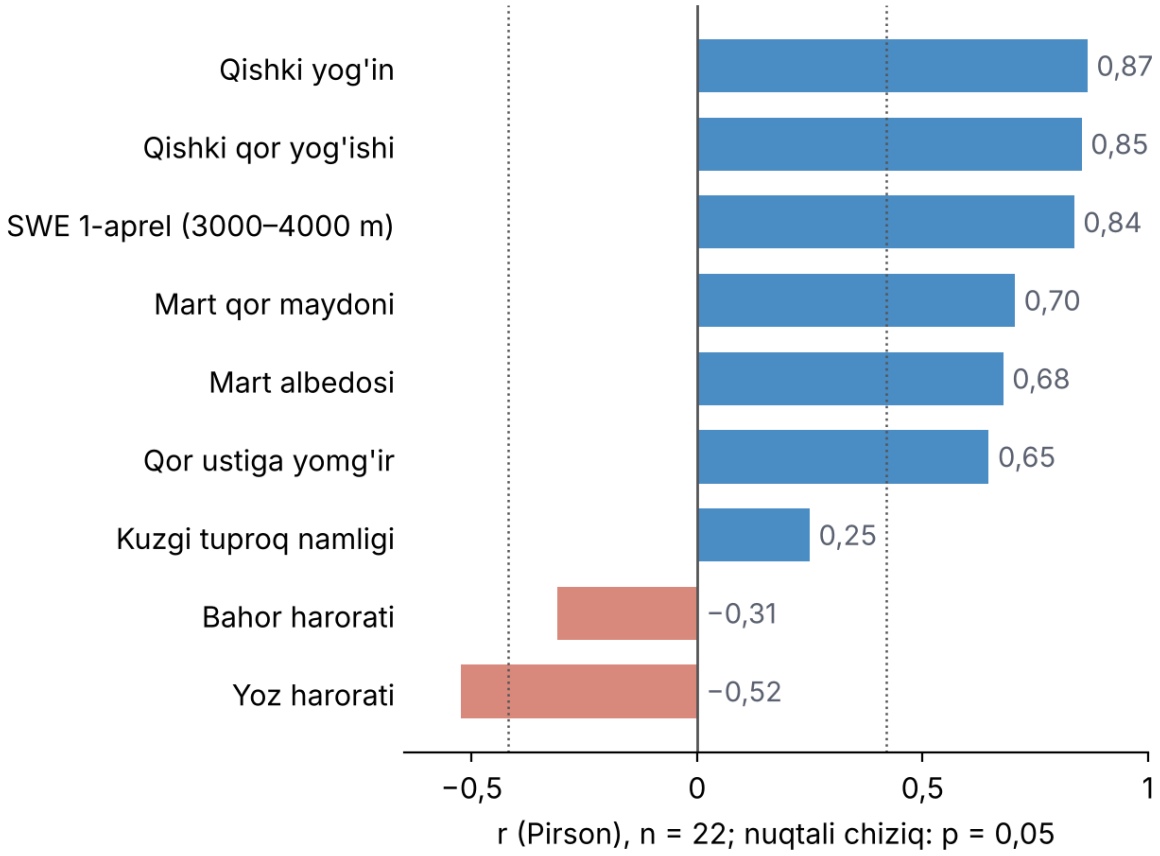
(b) Içma-iç LOOCV usuli. Eng yaxşi modelni tanlaş uçun butun ma'lumotdan foydalangan holda, model öşa ma'lumotlarga ”moslaşib qoladi” va xatolik körsatkiçi sun'iy ravişda juda kiçik bölib çiqadi. Bunga fan tilida ”optimistik siljiş” deyiladi. Ana şu xatolikni yöqotiş uçun model tanlaşning özi ham tekşiruvga kiritildi. Har bir taşqi qadamda bitta yil çiqarib qöyildi; qolgan 21 yil içida 7 ta bir omilli nomzod model içki LOOCV bilan soliştirildi; eng yaxşisi tanlanib, çiqarilgan yil başorat qilindi (Varma va Simon, 2006).

(c) Mustaqil davr: model 2004–2016 yillar ma’lumotlaridan foydalanadi va 2017–2025 yillarda tekşirildi.

4. Natijalar

4.1. Omillarning suv oqimi bilan boğliqligi

Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi bilan eng kuçli boğliqlikni qişki yoğin ($r = 0,87$; $p < 0,001$), qişki qor yoğişi ($r = 0,85$; $p < 0,001$) va 3000–4000 m zonadagi 1-aprel SWE ($r = 0,84$; $p < 0,001$) körsatdi (2-rasm). Mart oyidagi qor qoplami maydoni ($r = 0,70$) va 2000 m dan baland hududdagi mart albedosi ($r = 0,68$) ham ahamiyatli boğliqlikka ega ($p < 0,001$). Albedo bu yerda asosan qor qoplami körsatkiçi vazifasini bajaradi. Qor ustiga tuşgan yomğir ham musbat boğlangan ($r = 0,65$; $p = 0,001$). Yozgi harorat manfiy boğlangan ($r = −0,52$; $p = 0,01$). Bahorgi harorat va kuzgi tuproq namligining boğliqligi ahamiyatsiz ($p > 0,15$). 9 ta omil bir vaqtda tekşirilgani uçun $p \approx 0,05$ atrofidagi natijalar (masalan, yozgi harorat) tasodifiy bölişi mumkin. Şu sababli model tanlaş faqat korrelyatsiyaga emas, balki içma-iç (LOOCV) kesişgan tekşiruvga tayandi.



2-rasm. Gidroiqlimiy omillarning Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi bilan korrelyatsiyasi.

4.2. Regressiya modeli va uning statistik asoslanganligi

Modellarni soliştiriş natijalari 3-jadvalda keltirilgan. Bir omilli modellar içida qişki yoğin eng kiçik xatoni berdi (RMSE = 4,2 km³; R^2cv = 0,68); 1-aprel SWE (Qor-suv ekvivalenti) va mart qor qoplami unga yetmadi. Ikkinçi omil qöşilganda oddiy LOOCV xatosi ba'zan kamaydi (masalan, qor ustiga yomğir bilan 3,8 km³), ammo model tanlaş ham tekşiruvga kiritilganda yaxşilaniş deyarli bolmadi. SWE, qor qoplami va albedo qişki yoğin bilan bir xil ma'lumotni takrorlaydi, şuning uçun ular qöşilganda xato oşdi.

3-jadval.

Regressiya modellarining tekşiruv natijalari (n = 22)

Model / tekşiruv usuli	**RMSE, km³**	**R^2cv**
Klimatologiya (örtaça qiymat), LOOCV	7,9	0
Faqat mart qor qoplami, LOOCV	5,8	0,41
Faqat 1-aprel SWE (3000–4000 m), LOOCV	4,6	0,63
Faqat qişki yoğin, LOOCV	**4,2**	**0,68**
Qişki yoğin + qor ustiga yomğir, LOOCV	3,8	0,75
Qişki yoğin + SWE, LOOCV	4,5	0,64
Qişki yoğin + SWE + albedo, LOOCV	4,5	0,64
Içma-iç LOOCV (13 ta bir omilli model içidan har safar qayta tanlaş)	**4,2**	**0,68**
Içma-iç LOOCV (91 ta 1–2 omilli model içidan har safar qayta tanlaş)	4,2	0,69
Mustaqil davr: 2004–2016 da öqitiş, 2017–2025 da tekşiriş	3,2	—
Klimatologiya, şu mustaqil davrda	4,6	—

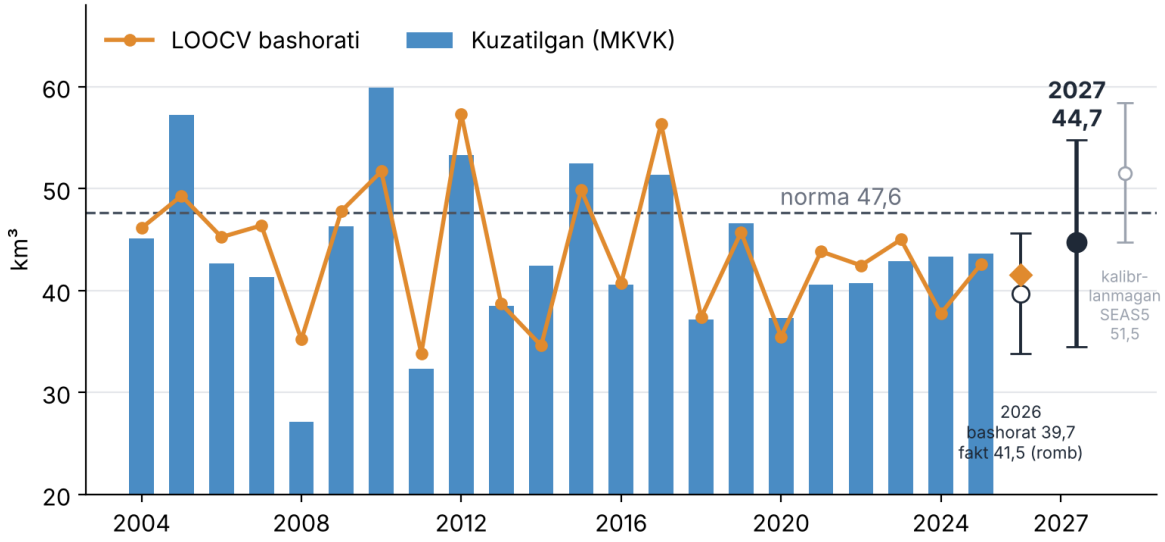
Içma-iç LOOCV da taşqi 22 qadamning hammasida içki tanlov aynan qişki yoğin modelini tanladi, şuning uçun model tanlaş tekşiruvga kiritilganda ham xato 4,2 km³ (R^2cv = 0,68) bölib qoldi. Ikki omilli modellar ham tanlanganlarga qöşilganda içki tanlov 22 qadamning 21 tasida qişki yoğin + qor ustiga yomğir modelini tanladi, ammo taşqi xato deyarli

özgarmadi (4,2 km³; R^2cv = 0,69). Bundan taşqari, qor ustiga yomğir mart–iyun oylari böyiça hisoblanadi va 1-aprelda, ya'ni başorat beriladigan paytda töliq ma'lum emas. Şu sababli bir omilli model qabul qilindi va bundan keyingi barça baholarda uning LOOCV xatosi (4,25 km³) başorat xatosi deb olinadi.

Mustaqil davrda (2017–2025) model barçasidan aniqroq böldi (RMSE 3,2 ga nisbatan 4,6 km³; r = 0,89; model suv oqimini örtaça 0,3 km³ ga ortiq baholadi). Eng katta xatolar 2017 (−5,7 km³) va 2024 (+5,7 km³) yillarga töğri keldi (3-rasm).

2025/26 qişida (2025-yil oktabr – 2026-yil mart) 2000 m dan baland hududga 308 mm yoğin tuşdi (ERA5-Land), bu me'yorning 89% i. Şu hisob 2004–2025 yillar uçun 2-jadvaldagi qiymatlarni 0,7 mm aniqlikda takrorladi.

NIC MKVK ning 2026-yil vegetatsiya davri analitik hisobotiga köra Kerki şartli kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi 41,5 km³ ni (normaning 89%) taşkil etdi. Bu yil uçun başorat xatosi −1,8 km³ (4%) bölib, modelning LOOCV xatosidan (4,2 km³) kiçik va 80% oraliq içida; suv oqimining normadan past bölişi ham töğri başorat qilindi. Taqqoslaş uçun BVO ”Amudaryo” grafigidagi reja 42,8 km³ edi (xato +1,3 km³).



3-rasm. Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi, 2004–2025: kuzatilgan (ustunlar, ölçangan) va LOOCV başorati (çiziq). Uzuq çiziq – norma (47,6 km³); öngda – 2026 uçun oldindan yozilgan başorat (oq doira, 80% oraliq) va 2027 prognozi.

4.4. 2027-yil prognozi

4.5. Quyi suv oqimiga yetadigan suv

2009–2026 yillarda quyi suv oqimidagi Özbekiston suv olişi 5,28 km³ (2011) dan 10,25 km³ (2017) gaça özgargan (7-jadval). Kerki suv oqimi bilan boğliqlik kuçli (r = 0,80; p < 0,001), lekin çiziqli emas: suv oqimi 44 km³ dan yuqori bölgan yillarda reja deyarli töliq bajarilgan (91–100%), undan pastda suv oliş keskin kamaygan.

Demak, Kerki suv oqimi 44 km³ dan kam bölsa, har 1 km³ kam suv oqimi quyi suv oqimiga 0,41 km³ kam suv bölişini körsatadi. 2021-yildan beri esa bir xil Kerki suv oqimida quyi suv oqimiga örtaça 2,35 km³ kam suv yetmoqda. 2021–2026 yillarning hammasida reja 59–77% bajarilgan, Kerki suv oqimi esa 40,6–43,6 km³ bölgan. 2018 va 2020 yillardagi past suv oliş (63 va 69%) davr özgarişi bilan emas, Kerki suv oqimining kamligi (37,1 va 37,3 km³) bilan tuşuntiriladi. Davr özgarişining sababi uşbu işda örganilmadi.

7-jadval.

Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmi va quyi suv oqimidagi Özbekiston (Xorazm va Qoraqalpoğiston) suv olişi, km³

Yil	Kerki	Suv oliş, fakt	Reja	Bajarilişi, %	Model, LOOCV
2009	46,26	9,37	10,29	91	10,0
2010	59,92	9,90	10,28	96	9,9
2011	32,30	5,28	10,29	51	5,0
2012	53,28	10,06	10,28	98	9,9

Yil	Kerki	Suv oliş, fakt	Reja	Bajarilişi, %	Model, LOOCV
2013	38,48	8,05	10,29	78	7,5
2014	42,44	8,80	10,30	85	9,5
2015	52,48	10,23	10,28	100	9,9
2016	40,54	9,10	10,30	88	8,0
2017	51,33	10,25	10,25	100	9,9
2018	37,11	6,37	10,04	63	7,2
2019	46,62	9,77	10,29	95	10,0
2020	37,32	7,11	10,29	69	4,8
2021	40,56	6,49	10,29	63	6,1
2022	40,70	6,07	10,29	59	6,3
2023	42,88	6,42	10,22	63	7,2
2024	43,28	7,31	10,29	71	7,3
2025	43,64	7,91	10,29	77	7,3
2026	41,50*	6,51	10,29	63	6,5

* NIC MKVK ning 2026-yil analitik hisobotidagi qiymat. 2009-yil – Xorazm (3,18 km³) va Qoraqalpoğiston (6,19 km³) yiğindisi. Taqqoslaş uçun: 2008-yilda (Kerki 27,1 km³) Özbekiston quyi suv oqimida limitning 45% ini olgan.

2027-yil uçun. Hozirgi (2021-yildan keyingi) holat saqlansa, asosiy holatda quyi suv oqimidagi Özbekiston suv olişining medianasi 7,0 km³ (rejaning 68%), 10–90% oraliği 3,6–8,3 km³; 2026-yildagidan (6,51 km³) kam böliş ehtimoli 38%, 6 km³ dan kam böliş ehtimoli 30%.

Bu natijalarning ikki çeklovi bor. Birinçidan, 2021-yildan keyin Kerki suv oqimi 44 km³ dan oşmagan, şuning uçun hozirgi holatda serob yilda suv oliş qança bölişi kuzatuvlarda yöq.

Ikkinçidan, oraliqning pastki çegarasi kuzatuvlardan taşqaridagi ekstrapolyatsiya: 2008-yilda Kerki 27,1 km³ bölganda ham Özbekiston quyi suv oqimida limitning 45% ini olgan, çiziqli model esa bunday suv oqimida taxminan 3 km³ beradi.

5. Muhokama

Natijalar Barlow va Tippett (2008) xulosasini Amudaryo uçun tasdiqlaydi: aprel–sentabr suv oqimi hajmining asosiy qismini oldingi qişdagi yoğin tuşuntiradi ($r = 0,87$; $R^2 = 0,75$; $R^2cv = 0,68$). Qor suv ekvivalenti, qor qoplami va albedo yoğin bilan bir xil ma'lumotni takrorlaydi va başoratni yaxşilamaydi. Qor ustiga tuşgan yomğir kabi ikkinçi omil oddiy tekşiruvda xatoni kamaytirsa ham, LOOCV tekşiruvda deyarli foyda bermadi va başorat paytida töliq ma'lum emas. Şu sababli eng sodda, fizik ma'nosi aniq bölgan bir omilli model tanlandi.

Kuzatuvlar soni (22 yil) kiçik. Şu sababli model atigi bitta omil bilan çeklandi, uning aniqligi uç xil usulda tekşirildi va LOOCV bahosi (4,25 km³) haqiqiy başorat xatosi deb qabul qilindi. Model faqat bir mavsum oldin (qişki yoğin ma'lum bölganda yoki prognoz qilinganda) qöllaş uçun möljallangan. U köp yillik yoki uzoq muddatli prognoz uçun emas. Mustaqil davrdagi kiçik xato modelning yaxşi işlaşini körsatadi, ammo alohida çekka yillarda model ± 8 km³ gaça xato berişi mumkin.

6. Xulosa

1. Amudaryoning Kerki kesimidagi aprel–sentabr suv oqimi hajmini toğlardagi qişki yoğin asosida bir omilli çiziqli model bilan başorat qiliş mumkin ($r = 0,87$; $p < 0,001$). 9 ta omil içidan model tanlaş ham tekşiruvga kiritilganda başorat xatosi 4,2 km³ ($R^2cv = 0,68$).

2. Quyi suv oqimidagi Özbekiston (Xorazm va Qoraqalpoğiston) suv olişi Kerki suv oqimi 44 km³ gaça bölgan yillarda unga çiziqli boğliq; 2021-yildan beri bir xil Kerki suv oqimida quyi suv oqimiga örtaça 2,35 km³ kam suv yetmoqda. 2027-yil uçun suv oliş medianasi 7,0 km³ (rejaning 68%; 10–90%: 3,6–8,3 km³). Xorazm viloyatining öz uluşini baholaş uçun viloyat böyiça rasmiy köp yillik ma'lumot zarur.

3. Keyingi tadqiqotlarda parognozlaş uçun köproq yilgi ma’lumotlarni va iyul–avgust suv oqimini alohida başorat qiliş tavsiya etiladi.

References

[1] Armstrong, R. L., Rittger, K., Brodzik, M. J., Racoviteanu, A., Barrett, A. P., Khalsa, S.-J. S., Raup, B., Hill, A. F., Khan, A. L., Wilson, A. M., Kayastha, R. B., Fetterer, F., & Armstrong, B. (2019). Runoff from glacier ice and seasonal snow in High Asia:

Separating melt water sources in river flow. *Regional Environmental Çange, 19*(5), 1249–1261. https://doi.org/10.1007/s10113-018-1429-0

[2] Barlow, M. A., & Tippett, M. K. (2008). Variability and predictability of Central Asia river flows: Antecedent winter precipitation and large-scale teleconnections. *Journal of Hydrometeorology, 9*(6), 1334–1349. https://doi.org/10.1175/2008JHM976.1

[3] GLIMS Consortium. (2005). *GLIMS Glacier Database* [Data set]. NASA National Snow and Ice Data Center DAAC. https://doi.org/10.7265/N5V98602

[4] Gorelick, N., Hançer, M., Dixon, M., Ilyuşçenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

[5] Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2021). *MODIS/Terra snow cover daily L3 global 500m SIN grid, Version 61* [Data set]. NASA National Snow and Ice Data Center DAAC. https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.061

[6] Hugonnet, R., McNabb, R., Berthier, E., Menounos, B., Nuth, C., Girod, L., Farinotti, D., Huss, M., Dussaillant, I., Brun, F., & Kääb, A. (2021). Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature, 592*(7856), 726–731. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03436-z

[7] Immerzeel, W. W., van Beek, L. P. H., & Bierkens, M. F. P. (2010). Climate çange will affect the Asian water towers. *Science, 328*(5984), 1382–1385. https://doi.org/10.1126/science.1183188

[8] Lehner, B., & Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: Baseline data and new approaçes to study the world's large river systems. *Hydrological Processes, 27*(15), 2171–2186. https://doi.org/10.1002/hyp.9740

[9] MKVK [Markaziy Osiyo davlatlararo suv xöjaligini muvofiqlaştiruvçi komissiyasi]. (2026). *Axborot byulleteni № 2 (115)*. NIC MKVK. https://www.cawater-info.net/library/rus/icwc/115-ru.pdf

[10] NIC MKVK. (2018–2025). *MKVK yilnomalari va analitik ma'lumotnomalar* (2018–2024 yillar vegetatsiya davri yakunlari). https://www.cawater-info.net

[11] NIC MKVK. (2004–2026). *MKVK axborot byulletenlari* (vegetatsiya davri yakunlari, 2004–2025). https://www.cawater-info.net/library/eng/icwc/

[12] NIC MKVK. (2022–2026). *Amudaryo havzasidagi suv xöjaligi holati: dekada hisobotlari* (BVO ”Amudaryo” ma'lumotlari). http://www.icwc-aral.uz/reports_amudarya_ru.htm

[13] NIC MKVK. (2007–2026). *Аналитические отчёты: водохозяйственная обстановка в бассейнах рек Амударья и Сырдарья за вегетацию 2007–2026 гг.* Toşkent: NIC MKVK. http://www.icwc-aral.uz

[14] Pohl, E., Gloaguen, R., Andermann, C., & Knoçe, M. (2017). Glacier melt buffers river runoff in the Pamir Mountains. *Water Resources Researç, 53*(3), 2467–2489. https://doi.org/10.1002/2016WR019431

[15] Varma, S., & Simon, R. (2006). Bias in error estimation when using cross-validation for model selection. *BMC Bioinformatics, 7*, 91. https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-91