Long-Term Hydrological Changes in the Aydar-Arnasay Lake System and Modern Methods for Their Study

Author: Jumayev Zohid Zarif o‘g‘li
National Research University “TIIAME”

Annotation.

This article examines the long-term hydrological changes of the Aydar-Arnasoy lake system (AALS) in Uzbekistan and reviews modern methods of studying them. The lake system is an artificial-natural complex in the Arnasoy depression on the eastern edge of the Kyzylkum desert, in the Jizzakh and Navoi regions. It began to form in 1969, when about 21.8 cubic kilometres of water were discharged from the Chardara reservoir into the depression. Today the lakes are fed mainly by collector-drainage water from irrigated lands, together with part of the surplus Syr Darya flow. The system was included in the Ramsar List of Wetlands of International Importance in 2008.

The study is based on monthly and annual monitoring data for 2005–2025, collected at hydrological posts on four main collectors: Oq buloq, Chegaraviy, QLI and ARK-1. The analysis covers water discharge, water volume and mineralization. The combined annual inflow varied between about 515 and 900 million cubic metres and showed no clear long-term trend. Its distribution among the collectors changed: the share of the Oq buloq collector rose from about 25 per cent in 2005–2018 to about 43 per cent in 2019–2025, while the QLI share fell from about 56 per cent to about 43 per cent. The volume-weighted mineralization was 2.95 g/l in 2005–2012, 3.73 g/l in 2013–2018 and 3.32 g/l in 2019–2025, and the total salt load increased by about 18 per cent. Water balance models, groundwater exchange and remote sensing are discussed as methods for future research. The results show that sustainable management of the lake system requires control of both water volume and water quality.

Keywords

Aydar-Arnasoy lake system, hydrological change, collector-drainage water, mineralization, salt load, water balance, remote sensing.

Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimining ko‘p yillik gidrologik o‘zgarishlari va ularni tadqiq etishning zamonaviy metodlari

Muallif: Jumayev Zohid Zarif o‘g‘li
TIQXMMI Milliy tadqiqot universiteti
Elektron pochta: zohidjumayev705@gmail.com
Telefon: +998 93 340 29 95

Annotatsiya.

Maqolada Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimining (AAKT) ko‘p yillik gidrologik o‘zgarishlari va ularni o‘rganishning zamonaviy metodlari tahlil qilinadi. Tizim Jizzax va Navoiy viloyatlari hududida, Qizilqum cho‘lining sharqiy chetidagi Arnasoy botig‘ida joylashgan sun’iy-tabiiy ko‘l majmuasidir. U 1969 yilda Chordara suv omboridan taxminan 21,8 km³ suv shu botiqqa tashlangach shakllana boshlagan. Hozir ko‘llar asosan sug‘oriladigan yerlardan chiqadigan kollektor-drenaj suvlari hamda Sirdaryoning ortiqcha oqimining bir qismi hisobiga to‘yinadi. Tizim 2008 yilda Ramsar konventsiyasi ro‘yxatiga kiritilgan.

Tadqiqot Oq buloq, Chegaraviy, QLI va ARK-1 kollektorlaridagi gidrologik postlarning 2005–2025 yillardagi oylik va yillik ma’lumotlariga asoslangan. Tahlilda suv sarfi, suv hajmi va mineralizatsiya ko‘rsatkichlari o‘rganilgan. To‘rt kollektordan keladigan yillik umumiy suv kirimi taxminan 515 dan 898 mln m³ gacha tebrangan, ammo uzoq muddatli aniq tendensiya kuzatilmagan. Kirim tarkibi esa o‘zgargan: Oq buloq ulushi 2005–2018 yillarda taxminan 25 foizdan 2019–2025 yillarda 43 foizga oshgan, QLI ulushi 56 foizdan 43 foizga tushgan. Hajmga tortilgan o‘rtacha mineralizatsiya 2005–2012 yillarda 2,95 g/l, 2013–2018 yillarda 3,73 g/l, 2019–2025 yillarda 3,32 g/l bo‘lgan, tuz miqdorining ortishi esa taxminan 18 foizga ko‘paygan. Maqolada suv balansi modellari,

yer osti suvlari bilan o‘zaro ta’sir va masofadan zondlash usullari ham ko‘rib chiqiladi. Xulosa shuki, ko‘l tizimini barqaror boshqarish uchun suv hajmi va suv sifatini birgalikda nazorat qilish zarur.

Kalit so‘zlar: Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimi, gidrologik o‘zgarish, kollektor-drenaj suvlari, mineralizatsiya, tuz miqdorining ortishi, suv balansi, masofadan zondlash.

Аннотация.

В статье рассматриваются многолетние гидрологические изменения системы озёр Айдар-Арнасай (ААСО) в Узбекистане и современные методы их изучения. Система представляет собой искусственно-природный комплекс озёр в Джизакской и Навоийской областях, в Арнасайской впадине на восточной окраине Кызылкума. Формирование системы началось в 1969 году, когда в эту впадину было сброшено около 21,8 км³ воды из Чардаринского водохранилища. В настоящее время озёра питаются главным образом коллекторно-дренажными водами с орошаемых земель и частью избыточного стока Сырдарьи. В 2008 году система включена в Список водно-болотных угодий, имеющих международное значение, по Рамсарской конвенции.

Исследование основано на месячных и годовых данных гидрологических постов за 2005–2025 годы на четырёх основных коллекторах: Ок булак, Чегаравий, QLI и АРК-1. Суммарный годовой приток колебался примерно от 515 до 900 млн м³ без явной долгосрочной тенденции. Однако распределение притока между коллекторами изменилось: доля Ок булака выросла примерно с 25 процентов в 2005–2018 годах до 43 процентов в 2019–2025 годах, а доля QLI снизилась с 56 до 43 процентов. Средневзвешенная по объёму минерализация составила 2,95 г/л в 2005–2012 годах, 3,73 г/л в 2013–2018 годах и 3,32 г/л в 2019–2025 годах, суммарная солевая нагрузка увеличилась примерно на 18 процентов. В статье также рассматриваются модели водного баланса, обмен с грунтовыми водами и

дистанционное зондирование. Результаты показывают, что устойчивое управление системой требует контроля как объёма, так и качества воды.

Ключевые слова: система озёр Айдар-Арнасай, гидрологические изменения, коллекторно-дренажные воды, минерализация, солевая нагрузка, водный баланс, дистанционное зондирование.

KIRISH

Markaziy Osiyoda suv resurslaridan jadal foydalanish Orol dengizining qurishiga olib keldi: dengizga kelayotgan suv kamayib, uning sho‘rligi oshdi [1]. Sug‘oriladigan maydonlarning kengayishi bilan qishloq xo‘jaligidan qaytgan kollektor-drenaj suvlari tabiiy pastliklarga tashlana boshladi. Shunday sun’iy-tabiiy ekotizimlardan biri Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimi (AAKT) bo‘lib, u Jizzax va Navoiy viloyatlari hududida, Qizilqum cho‘lining sharqiy qismidagi Arnasoy botig‘ida joylashgan.

Tizimning hozirgi ko‘rinishi 1969 yilda shakllana boshlagan. O‘sha yili Chordara suv omboridan Arnasoy botig‘iga taxminan 21,8 km³ suv tashlangan [2]. Bundan oldin bu yerda kichik Tuzkon sho‘r ko‘li mavjud edi [1]. Keyingi yillarda ko‘llarning suv manbai asosan sug‘orish zonasidan keladigan kollektor-drenaj suvlari va Sirdaryoning ortiqcha oqimi bo‘ldi [3].

Tizimning xalqaro ahamiyati katta. AAKT 2008 yil 20 oktyabrda Ramsar konventsiyasi ro‘yxatiga kiritilgan. Uning maydoni 527 100 gektar bo‘lib, Afrika–Yevrosiyo va Markaziy Osiyo qushlar yo‘llarining kesishgan joyida joylashgan, hududda 100 dan ortiq suv qushlari turi qayd etilgan [4]. Iqtisodiy jihatdan ham tizim ahamiyatli: Orol dengizida tijorat baliq ovi to‘xtagach (1983), AAKT asosiy baliqchilik ko‘liga aylangan, ammo 2006 yilga kelib ovlanish 728 tonnagacha kamaygan [1].

Tizimning suv rejimi beqaror. Rasmiy ma’lumotlarga ko‘ra, tizim hajmi 2006 yilda 42,1 mlrd m³ bo‘lgan, 2023 yilga kelib esa 36,8 mlrd m³ gacha kamaygan, sath esa taxminan 2 metrga tushgan [5]. Wahyuni va hammualliflarning tahlilida ko‘l sathi yiliga 0,1 dan 2,9 metrgacha o‘zgargan, bu tebranish atrofdagi yer osti suvlari sathiga ham ta’sir qilgan [6]. Tuz masalasi ham dolzarb: Erkabaev va hammualliflarning 2024 yildagi tadqiqotida tizim suvining umumiy mineralizatsiyasi me’yordan 25 martadan ortiq ekani qayd etilgan [7].

Tizimni o‘rganish bo‘yicha ilmiy ishlar mavjud. Kulmatov va hammualliflar 2013 yilda suv resurslarining miqdoriy va sifat bahosini bergan [8], 2022 yilda esa suv resurslari balansi modelini rivojlantirgan [9]. Akhmadjonova tizimning gidrologik tavsifi va gidrokimyoviy tahlilini bergan [10]. Wahyuni va hammualliflar ko‘l suv balansi modeli yordamida yer osti suvi almashinuvini hisoblab, mart–iyul oylarida yer osti suvining ko‘lga kirishini, avgust–fevralda esa chiqishini aniqlagan [11]. Biroq bu tadqiqotlar odatda alohida davr, alohida jihat yoki alohida model doirasida olib borilgan. Sirojiddinova va hammualliflar ham gidrologik, gidrokimyoviy va ekologik natijalarni bitta suv balansi–ekotizim zanjirida umumlashtiruvchi sharhlar yetarli emasligini qayd etgan [3].

Shu sababli, 2005–2025 yillarda AAKT ni oziqlantiruvchi asosiy kollektor zovurlarining gidrologik postlarida olingan kuzatuv ma’lumotlari muhim ahamiyatga ega . Ushbu ma’lumotlar to‘rtta asosiy zovur (Oq buloq, Chegaraviy, QLI va ARK-1) bo‘yicha yillik kirim, hajm va mineralizatsiyani o‘z ichiga oladi. Ularning yillik umumiy kirimi 515 dan 898 mln m^3 gacha o‘zgargan, lekin kirim tarkibi sezilarli o‘zgargan .

Tadqiqotning maqsadi: 2005–2025 yillarda AAKT ga kirayotgan suvning hajmi, tarkibi va mineralizatsiyasidagi ko‘p yillik gidrologik o‘zgarishlarni aniqlash hamda ularni o‘rganishning zamonaviy metodlarini tahlil qilish.

Vazifalar: (1) zovurlar bo‘yicha yillik kirim va hajm dinamikasini tahlil qilish; (2) kirayotgan suvning mineralizatsiyasi va tuz miqdorining ortishining o‘zgarishini baholash; (3) ma’lumotlarning sifatini tekshirish va natijalardagi cheklovlarni aniqlash; (4) suv balansi modellashtirish, yer osti suvlari o‘zaro ta’siri va masofadan zondlash metodlarini tahlil qilish.

Ilmiy yangilik shundaki, bir nechta asosiy kollektor zovurining uzoq muddatli monitoring ma’lumotlari bitta tizimda hajm va sifat ko‘rsatkichlari bo‘yicha birgalikda tahlil qilinadi. Amaliy ahamiyati esa Chordara suv omboridan tashlamalarni

rejalashtirish, kollektor-drenaj oqimini boshqarish va tizimning ekologik holatini kuzatish uchun ilmiy asos berishdan iborat.

2. Tizimning shakllanishi va tabiiy-geografik xususiyatlari.

Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimi Qizilqum cho‘lining janubi-sharqiy qismida, Sirdaryoning o‘rta oqimi yaqinidagi past botiqlarda joylashgan. Tizim Aydarko‘l, Tuzkon va Arnasoy ko‘llaridan iborat bo‘lib, ularning umumiy maydoni manbalarda taxminan 4 000 km² deb ko‘rsatiladi [3]. Ilmiy adabiyotlarda tizim tabiiy emas, balki inson faoliyati natijasida shakllangan deb baholanadi: Sirdaryo oqimining boshqarilishi, Chordara suv omboridan ortiqcha suvning tashlanishi va kollektor-drenaj suvlarining to‘planishi uning vujudga kelishini belgilagan [3].

Tizim tarixida 1969 yil muhim burilish nuqtasi bo‘lgan. Gudalovning tadqiqotiga ko‘ra, Chordara suv ombori qurilishi va Mirzacho‘lning o‘zlashtirilishidan oldin Aydar, Arnasoy va Tuzkon alohida kichik ko‘llar bo‘lgan [2]. 1969 yil fevral–iyul oylarida Chordara suv omboridan Aydar–Arnasoy havzasiga taxminan 15,3 mlrd m³ suv oqib kelgan. 1969 yil fevralidan 1970 yil martigacha Arnasoy gidroelektr stansiyasi orqali jami 21,8 km³ suv tashlangan [2]. Shu tashlamalar natijasida ko‘llar yagona tizimga birlashgan: tadqiqotda Aydarko‘l sathi 10 metrga, Tuzkon sathi esa 22 metrga ko‘tarilgani qayd etilgan [2].

Tizimning gidrologik rejimi yil davomida ham, yillar davomida ham o‘zgaruvchan. Gudalov ma’lumotlariga ko‘ra, ko‘l sathining yillik tebranishi 0,8 dan 2,3 metrgacha bo‘lgan, eng yuqori sath odatda may oyida kuzatilgan [2]. Wahyuni va hammualliflar uzoq yillik kuzatuvlarda sath 0,1 dan 2,9 metrgacha yillik o‘zgarishga ega ekanini ko‘rsatgan. Bu tebranish suv yuzasi maydonining kengayishi yoki torayishiga va atrofdagi yer osti suvlari sathining o‘zgarishiga olib kelgan [6].

Tizimga kiruvchi suvning manbalari bir nechta. Sirojiddinova va hammualliflarning ma’lumotiga ko‘ra, tizimga Chordara suv omboridan kelgan Sirdaryo suvi, kollektor-drenaj suvlari, yer osti suvlari va atmosfera yog‘inlari kiradi [3]. Suv balansi tenglamasi $\Delta S = Qkir + P + Gkir - E - Qchiq - Gchiq$ ko‘rinishida yoziladi, bu yerda ΔS – suv zahirasining o‘zgarishi, Q – daryo yoki kanal oqimi, P – yog‘in, G – yer osti suvi, E – bug‘lanish [3]. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, tizimdan chiqimning asosiy qismi bug‘lanish hisobiga bo‘ladi [3]. Yer osti suvining roli mavsumga bog‘liq: mart–iyul oylarida u ko‘lga kirim beradi, avgust–fevralda esa undan chiqim bo‘ladi [11].

Tizim quruq iqlim sharoitida joylashgan. Yog‘in miqdori kam, bug‘lanish esa juda yuqori, shuning uchun kirim kamaysa ko‘l sathi va hajmi tez pasayadi. Erkabaev va hammualliflar tizimni drenajsiz (suvi tashqariga chiqmaydigan) ko‘llar majmuasi deb ta’riflagan va uning kollektor-drenaj tarmog‘i hamda Chordara suv omboridan keladigan oqim hisobiga to‘yinishini qayd etgan [7].

Tizim suvining kimyoviy tarkibi ham o‘ziga xos. Kollektor-drenaj suvlari eriydigan tuzlarni olib kelgani uchun, bug‘lanish kuchli bo‘lgan sharoitda ko‘l suvining sho‘rligi oshadi [3]. Mazkur tadqiqotda kirayotgan suvning mineralizatsiyasi 2 dan 5 g/l gacha ekani kuzatilgan . Bu ko‘rsatkich umumiy qabul qilingan tasnifga ko‘ra sho‘r-chuchuk suv oralig‘iga to‘g‘ri keladi. Ramsar ma’lumotnomasida esa tizim "chuchuk suvli ko‘llar" sifatida tavsiflangan [4]. Bu tafovut tizimning sho‘rlanish dinamikasini alohida tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Tizim biologik jihatdan ham muhim. Ramsar ma’lumotlariga ko‘ra, u Afrika–Yevrosiyo va Markaziy Osiyo qushlar yo‘llarining kesishgan joyida joylashgan va 100 dan ortiq suv qushlari turini o‘ziga jalb qiladi [4]. Qirg‘oqlarda qamish jamoalari, shuvoq va tamarisk o‘sadi. Shu bilan birga, Groll va hammualliflar tizimni baliqchilik hududi sifatida ham tavsiflagan: Orol dengizida tijorat baliq ovi to‘xtagach, Aydar-Arnasoy tizimi yirik baliqchilik hududiga aylangan [1].

Xulosa qilib aytganda, tizim tabiiy-geografik jihatdan quruq cho‘l botig‘ida, inson faoliyati bilan shakllangan va sug‘orish tizimi bilan bevosita bog‘liq sun’iy-tabiiy ekotizimdir. Uning suv balansi kirim manbalari, bug‘lanish va yer osti suvi o‘rtasidagi nisbatga, sho‘rlanish esa kirayotgan suvning tarkibiga bog‘liq.

3. Materiallar va tadqiqot metodlari.

Tadqiqot ob’ekti Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimiga suv kiritadigan kollektor zovurlaridir. Ma’lumotlar gidrologik postlarda kuzatilgan va yetti alohida jadval ko‘rinishida tayyorlangan . Jadvallarning qamrovi bir xil emas, shuning uchun har bir zovur uchun foydalanish mumkin bo‘lgan yillar 1-jadvalda ko‘rsatilgan.

1-jadval. Ma’lumotlarning qamrovi

Zovur	Qamrov	Asosiy tahlilda	Izoh
Oq buloq	2005–2025	Ha	To‘liq qator
Chegaraviy	2005–2025	Ha	2014 yil ma’lumoti sarf bilan mos emas
QLI	2005–2025	Ha	To‘liq qator
ARK-1	2005–2025	Ha	To‘liq qator
TSK-12	2015–2025	Qo‘shimcha	Qisqa qator
TSK-11	2015–2025	Qo‘shimcha	Qisqa qator
ЦГК (Sirdaryo balansi)	2008–2025 (uzilishlar bilan)	Yo‘q	2020–2021 yillar yo‘q, 2019 yil nomuvofiq,

Zovur	Qamrov	Asosiy tahlilda	Izoh
			2022–2025 yillarda mineralizatsiya yo‘q

Har bir zovur jadvalida oylar bo‘yicha o‘rtacha suv sarfi (m³/s), oylik suv hajmi (mln m³), yil boshidan yig‘ilgan hajm va oylik mineralizatsiya (g/l) berilgan.

To‘rtta zovur (Oq buloq, Chegaraviy, QLI, ARK-1) asosiy tahlil uchun tanlandi, chunki ularning 2005–2025 yillik qatorlari to‘liq va ular tizimga kiruvchi asosiy kirimning katta qismini tashkil etadi. TSK-12 va TSK-11 qatorlari qisqa bo‘lgani uchun faqat qo‘shimcha ma’lumot sifatida ko‘rib chiqiladi. ЦГК zovuri boshqa miqyosdagi oqimni ko‘rsatgani va yozuvlarida uzilishlar bo‘lgani uchun asosiy tahlildan chiqarildi.

Oylik suv hajmi sarf, oydagi kunlar soni va sekundlar sonining ko‘paytmasi sifatida hisoblandi: $V = Q \times n \times 86\,400 / 10^6$ (mln m³), bu yerda Q – oylik o‘rtacha sarf (m³/s), n – oydagi kunlar soni. Yillik suv hajmi oylik hajmlar yig‘indisi sifatida olindi. Tekshirish uchun Oq buloq zovurining 2025 yildagi sarfi (10,38 m³/s) yillik 327 mln m³ ga mos kelishi aniqlandi.

Yillik mineralizatsiya suv hajmiga tortilgan o‘rtacha ko‘rsatkich sifatida hisoblandi. Davr uchun vaznli mineralizatsiya $\bar{M} = \Sigma(V_i \times M_i) / \Sigma V_i$ formulasi bilan aniqlandi, bu yerda V_i – yillik suv hajmi, M_i – yillik mineralizatsiya. Tuz miqdorining ortishi har bir yil uchun $L = V \times M$ ko‘rinishida hisoblandi; 1 mln m³ × 1 g/l = 1 ming tonna tuz.

Yillararo tebranish koeffitsienti (CV) yillik suv hajmlari uchun o‘rtacha kvadratik og‘ishning o‘rtachaga nisbati sifatida aniqlandi. Zovurlarning umumiy kirimdagi ulushi esa zovur hajmining to‘rtta zovur yig‘indisiga nisbati sifatida hisoblandi.

Tahlil uchta davrga bo‘lindi: 2005–2012 yillar (8 yil), 2013–2018 yillar (6 yil) va 2019–2025 yillar (7 yil). Davrlar uzunligi bir xil emas, shuning uchun ular bo‘yicha taqqoslash yig‘indi emas, balki o‘rtacha qiymatlar bo‘yicha amalga oshirildi.

Ma’lumot sifatini tekshirishda quyidagi nomuvofiqliklar aniqlandi va natijalar talqinida hisobga olindi. Chegaraviy zovurining 2014 yilida o‘rtacha sarf 1,56 m³/s, lekin yillik hajm 7,5 mln m³ ko‘rsatilgan, sarfdan hisoblangan hajm esa taxminan 49 mln m³ bo‘lishi kerak; bu yil davrlar o‘rtachasidan chiqarib tashlandi. ЦГК zovurining 2019 yilida o‘rtacha sarf 63,3 m³/s, lekin oylik hajmlar yig‘indisi atigi 167 mln m³. ЦГК varag‘ida 2020–2021 yillar yo‘q, 2022–2025 yillar uchun esa mineralizatsiya berilmagan.

Zamonaviy tadqiqot metodlari bo‘yicha manbalar, jumladan suv balansi modellari, yer osti suvi bilan o‘zaro ta’sir, bug‘lanishni baholash, masofadan zondlash va prognoz stsenariylari adabiyotlar asosida tahlil qilinadi. Bu usullar empirik hisob-kitob sifatida emas, metodik yo‘nalish sifatida keltiriladi [3][11][12].

Tadqiqot bir nechta cheklovga ega. Birinchidan, tahlilga bug‘lanish, yog‘in va yer osti suvi ma’lumotlari kiritilmagan, shuning uchun suv balansi to‘liq hisoblanmagan, faqat kollektor kirimi tahlil qilingan. Ikkinchidan, asosiy kirimni tashkil etuvchi Sirdaryo oqimi (Chordara) ma’lumotlari ushbu jadvallarda yo‘q. Uchinchidan, ЦГК va TSK zovurlaridagi uzilishlar qo‘shimcha tahlilni cheklaydi. To‘rtinchidan, o‘lchov usullari va kalibrlash ma’lumotlari berilmagan.

4. Zovurlar bo‘yicha kirim va hajm dinamikasi.

To‘rtta asosiy zovurdan AAKT ga kirgan yillik suv hajmlarining yig‘indisi 2005–2025 yillarda 515 dan 898 mln m³ gacha o‘zgargan . Eng yuqori kirim 2005 yilda (898 mln m³) qayd etilgan, undan keyin 2006 yilda 819 mln m³, 2007 yilda 730 mln m³ bo‘lgan. Keyingi yillarda kirim pasaygan: 2008 yilda 551 mln m³ bilan kuzatuvdagi eng past ko‘rsatkichlardan biri qayd etilgan. 2009–2018 yillarda yillik kirim asosan 525 dan 625 mln m³ oralig‘ida tebranib turgan. 2019 yildan keyin kirim yana oshgan: 2019 yilda 710 mln m³, 2022 yilda 689 mln m³. 2023 yilda kirim 515 mln m³ ga tushgan, 2024 yilda esa 824 mln m³ ga ko‘tarilgan, 2025 yilda kirim 772 mln m³ bo‘lgan.

Davrlar bo‘yicha o‘rtacha yillik kirim 2005–2012 yillarda 654 mln m³, 2013–2018 yillarda 584 mln m³, 2019–2025 yillarda 684 mln m³ bo‘lgan. Davrlar o‘rtasidagi farq tebranish oralig‘ida bo‘lib, uzoq muddatli yo‘nalish aniq emas. Shu sababli umumiy kirimga qarab tizim hajmining uzoq muddatli o‘zgarishini xulosa qilib bo‘lmaydi, zovurlar bo‘yicha alohida tahlil zarur.

Zovurlar bo‘yicha tahlil shuni ko‘rsatadiki, Oq buloq zovurining hajmi 2005–2018 yillarda 119 dan 214 mln m³ oralig‘ida bo‘lgan. 2019 yilda uning hajmi bir yilda 124 mln m³ dan 282 mln m³ gacha, taxminan ikki barobar oshgan. Undan keyingi yillarda hajm yuqori darajada saqlangan: 2019–2025 yillardagi o‘rtacha 297 mln m³, eng yuqori qiymat 2022 yilda (355,5 mln m³). Ma’lumotlarning o‘zi bu o‘sishning sababini ko‘rsatmaydi, shuning uchun sug‘orish suvi taqsimoti, kollektor tarmog‘idagi qayta yo‘naltirishlar yoki o‘lchov usulining o‘zgarishi rasmiy hujjatlar orqali tekshirilishi kerak .

Chegaraviy zovurining hajmi 2005 yilda eng yuqori (174,2 mln m³) bo‘lgan, keyingi yillarda esa keskin kamaygan. 2005–2012 yillardagi o‘rtacha 121 mln m³ 2019–2025 yillarda 71 mln m³ gacha tushgan. 2024 yilda hajm 101 mln m³ gacha ko‘tarilgan, bu 2019–2025 davridagi eng yuqori ko‘rsatkich. Tebranish koeffitsienti (0,46) to‘rtta zovur ichida ikkinchi o‘rinda turadi, shuning uchun bu zovurning kirimi yildan-yilga kuchli o‘zgargan. 2014 yildagi nomuvofiq yozuv (7,5 mln m³) davriy o‘rtachani keskin pasaytirgani uchun u alohida izohlanadi .

QLI zovuri 2005–2018 yillarda tizimning eng katta kirim manbai bo‘lgan. Uning o‘rtacha hajmi 2005–2012 yillarda 365 mln m³, 2013–2018 yillarda 372 mln m³ bo‘lib, bu ikki davr deyarli bir xil. 2019–2025 yillarda o‘rtacha hajm 292 mln m³ ga tushgan. Eng yuqori qiymat 2005 yilda (525 mln m³), eng past qiymat 2023 yilda (197 mln m³) qayd etilgan. 0,20 tebranish koeffitsienti QLI kirimi to‘rtta zovur ichida eng barqaror

ekanini ko‘rsatadi, ammo 2019 yildan keyingi pasayish kirimning ichki tarkibida o‘zgarish bo‘lganini bildiradi .

ARK-1 zovuri hajm jihatidan eng kichik, lekin eng tez o‘sgan manba. 2005–2012 yillarda uning o‘rtacha hajmi 5,6 mln m³ bo‘lgan, 2019–2025 yillarda esa 24,0 mln m³ ga yetgan, ya’ni taxminan to‘rt barobar. 2024 yilda hajm 50,9 mln m³ bilan eng yuqori darajaga chiqqan. Tebranish koeffitsienti (0,97) to‘rtta zovur ichida eng yuqori, shuning uchun bu zovurdan chiqarilgan yillik xulosalar ehtiyotkorlik bilan talqin qilinishi kerak. Hajmi kichik bo‘lgani uchun ARK-1 umumiy kirimga 2019–2025 yillarda taxminan 3,5 foiz hissa qo‘shgan .

2-jadval. Zovurlar bo‘yicha yillik suv hajmi (mln m³, davrlar o‘rtachasi)

Zovur	2005–2012	2013–2018	2019–2025	Minimum (yil)	Maksimum (yil)	CV
Oq buloq	163,1	143,2	297,0	118,6 (2009)	355,5 (2022)	0,37
Chegaraviy	121,0	68,6*	70,7	7,5 (2014)*	174,2 (2005)	0,46
QLI	364,7	372,4	292,2	196,7 (2023)	525,0 (2005)	0,20
ARK-1	5,6	9,8	24,0	4,6 (2005)	50,9 (2024)	0,97
Jami	**654,4**	**583,8**	**683,9**	—	—	—

** 2014 yil ma’lumoti sarf bilan mos emas, shuning uchun 2013–2018 davri o‘rtachasi shu yilsiz hisoblangan (68,6 mln m³).*

Kirim tarkibidagi siljish davrlar bo‘yicha aniq ko‘rinadi. 2005–2012 yillarda kirimning 56 foizi QLI zovuridan, 25 foizi Oq buloq zovuridan, 18 foizi Chegaraviy zovuridan kelgan. 2019–2025 yillarda QLI ulushi 43 foizga tushgan, Oq buloq esa umumiy kirimning 43 foizini tashkil etgan (3-jadval). Ya’ni, umumiy hajm barqaror bo‘lsa ham, uning manbalari o‘rtasidagi nisbat o‘zgargan. Bu o‘zgarish mineralizatsiyaga ham ta’sir qiladi.

3-jadval. Zovurlarning umumiy kirimdagi ulushi (%)

Zovur	2005–2012	2013–2018	2019–2025
QLI	56	64	43
Oq buloq	25	25	43
Chegaraviy	18	10	10
ARK-1	1	2	3,5

Kirim dinamikasi bo‘yicha asosiy natijalar quyidagicha: to‘rt zovurning yillik umumiy kirimi 515 dan 898 mln m³ gacha o‘zgargan, uzoq muddatli tendensiya aniqlanmagan; kirimning tarkibi o‘zgargan, 2019 yildan keyin Oq buloq va ARK-1 ulushi oshgan, QLI ulushi kamaygan; Chegaraviy va ARK-1 eng beqaror manbalardir. 2019 yildagi Oq buloq siljishi va 2014 yildagi Chegaraviy yozuvi kabi nomuvofiqliklar talqinda alohida e’tiborni talab qiladi. Bu natijalar faqat to‘rtta kollektor kirimini aks ettiradi, Chordara suv omboridan kelgan Sirdaryo oqimi, yog‘in, bug‘lanish va yer osti suvi esa ushbu ma’lumotlarda mavjud emas.

5. Mineralizatsiya va tuz ortishining o‘zgarishi.

Kirayotgan suvning hajmga tortilgan o‘rtacha mineralizatsiyasi 2005–2012 yillarda 2,95 g/l, 2013–2018 yillarda 3,73 g/l, 2019–2025 yillarda 3,32 g/l bo‘lgan . Eng yuqori

sho‘rlanish 2013–2018 yillarga to‘g‘ri kelgan, keyingi davrda biroz pasaygan, ammo 2005–2012 yillar darajasiga qaytmagan.

Tuz miqdorining ortishi, ya’ni suv hajmi bilan mineralizatsiya ko‘paytmasi, to‘rtta zovur bo‘yicha yillik o‘rtacha 1 930 ming tonnadan 2 271 ming tonnagacha oshgan, bu taxminan 18 foiz . Suv hajmi davrlar o‘rtasida deyarli o‘zgarmagan, shuning uchun o‘sish asosan kirayotgan suv sho‘rligining oshishi bilan bog‘liq. 2024 yilda tuz miqdorining ortishi kuzatuv davridagi eng yuqori qiymatga (taxminan 3 071 ming tonna) yetgan.

4-jadval. Zovurlar bo‘yicha o‘rtacha mineralizatsiya (g/l)

Zovur	2005–2012	2013–2018	2019–2025
Oq buloq	3,22	4,09	3,54
Chegaraviy	3,09	4,04	4,00
QLI	2,77	3,54	2,83
ARK-1	3,51	3,76	4,51

Zovurlar kesimida QLI 2013–2018 yillarda tizimga eng ko‘p tuz olib kirgan (yillik taxminan 1 318 ming tonna), 2019–2025 yillarda esa yuklama 828 ming tonnagacha kamaygan. Oq buloq zovurida, aksincha, yuklama 525 dan 1 052 ming tonnagacha, taxminan ikki barobar oshgan. Chegaraviy va ARK-1 zovurlarida sho‘rlik yuqori va o‘sgan: Chegaraviyda 2017–2018 yillarda 4,6–4,8 g/l, ARK-1da 2022–2025 yillarda 4,6–4,8 g/l qayd etilgan .

Erkabaev va hammualliflar umumiy mineralizatsiyaning me’yordan 25 martadan ortiq ekanini qayd etgan [7]. Rossiya olimlarining 2023 yildagi stsenariy hisoblarida, kirim kamaysa, Aydar–Tuzkan tizimining muvozanat sathi 241,9 m gacha pasayib, sho‘rlik

61‰ ga yetishi, kirim oshirilgan variantda esa sho‘rlik 92% gacha ko‘tarilishi ko‘rsatilgan [12].

Mineralizatsiya va tuz miqdorining ortishining o‘zgarishi kirim tarkibidagi siljish bilan bog‘liq ko‘rinadi, ammo ma’lumotlar sababiy bog‘liqlikni isbotlamaydi. Buni aniqlash uchun bug‘lanish, yog‘in va sug‘orish ma’lumotlari kerak.

6. Zamonaviy tadqiqot metodlari.

Aydar-Arnasoy tizimini o‘rganishda bir nechta zamonaviy yondashuv qo‘llaniladi. Ular bir-birini to‘ldiradi, ammo hech biri alohida yetarli emas.

Suv balansi modellari. Sirojiddinova va hammualliflar tizim uchun SWAT, WEAP, MIKE SHE, MODFLOW va HEC-HMS modellarini taqqoslagan [3]. Ularning xulosasiga ko‘ra, SWAT havza miqyosidagi gidrologiya va GAT bilan integratsiya uchun, MIKE SHE yer osti suvi va ko‘l o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir uchun, WEAP esa iqlim stsenariylari va suv taqsimoti uchun qulay. Har bir model ekologik jihatni cheklangan darajada qamrab oladi.

Yer osti suvi bilan o‘zaro ta’sir. Wahyuni va hammualliflar ko‘l suv balansi modeli orqali yer osti suvi almashinuvini hisoblagan [11]. Natijaga ko‘ra, mart–iyul oylarida yer osti suvi ko‘lga kiradi (0,13–0,83 km³/oy), avgust–fevralda esa ko‘ldan chiqadi (−0,05 dan −0,51 km³/oy gacha). Model o‘lchangan ma’lumotlar bilan tekshirilgan.

Bug‘lanishni baholash. Sirojiddinova va hammualliflar bug‘lanish tizimda asosiy chiqim komponenti ekanini ta’kidlab, FAO Penman–Monteith usulini eng ishonchli usullardan biri sifatida tavsiya qilgan [3]. Usulni qo‘llash uchun yog‘in va harorat qatorlari hamda MODIS ma’lumotlari zarurligi ko‘rsatilgan.

Masofadan zondlash va GAT. Sirojiddinova va hammualliflarning ma’lumotiga ko‘ra, Landsat va Sentinel-2 tasvirlari yordamida ko‘l suv yuzasi maydonini 1985–2025 yillar uchun NDWI indeksi orqali kuzatish mumkin [3]. Bu usul dala postlari yetmaydigan hududlarni ham qamraydi, biroq natijalar dala o‘lchovlari bilan kalibrlanishi shart.

Ushbu tadqiqotda masofadan zondlash tasvirlari hisoblanmagan, shuning uchun bu usul metodik yo‘nalish sifatida keltirilgan.

Prognoz stsenariylari. Grechushnikova va hammualliflar (2023) dinamik-stoxastik model yordamida Aydar–Tuzkan tizimining sath va sho‘rligini kirim o‘zgarishiga qarab hisoblagan [12]. Bu natijalar ushbu tadqiqotda faqat metodik taqqoslash uchun keltiriladi.

Monitoring va sun’iy intellekt. Sirojiddinova va hammualliflar uzluksiz monitoring uchun sath datchiklari, avtomatik EC/TDS o‘lchagichlari va ma’lumotlarni bulutli bazaga yig‘ishni tavsiya qilgan. Sath, sho‘rlik va suv maydonini bashorat qilish uchun Random Forest, XGBoost yoki LSTM kabi mashinaviy o‘rganish usullarini qo‘llash mumkinligi ko‘rsatilgan [3]. Bu usullar Aydar-Arnasoy uchun hali amalda sinalmagan.

Xulosa qilib aytganda, zamonaviy metodlarning hech biri tizimning to‘liq suv balansi va ekologik holatini bitta modelda qamrab olmaydi. Shu sababli kelgusida suv balansi modeli, masofadan zondlash va dala monitoringini birlashtirish zarur.

Xulosa va tavsiyalar.

Tadqiqot 2005–2025 yillarda Aydar-Arnasoy ko‘llar tizimini oziqlantiruvchi to‘rtta asosiy kollektor zovurining gidrologik ma’lumotlarini tahlil qildi. Natijalar tizimning kirim hajmi va sifati tarixan barqaror emasligini ko‘rsatadi.

Birinchidan, to‘rtta zovurdan keladigan yillik suv hajmi 515 dan 898 mln m³ gacha o‘zgargan, ammo uzoq muddatli yo‘nalish aniqlanmadi. Davrlar bo‘yicha o‘rtacha kirim 654, 584 va 684 mln m³ bo‘lgan . Ikkinchidan, kirimning tarkibi o‘zgargan: 2019 yildan keyin Oq buloq ulushi taxminan 43 foizgacha oshgan, QLI ulushi esa 43 foizgacha kamaygan . Uchinchidan, hajmga tortilgan mineralizatsiya 2005–2012 yillardagi 2,95 g/l dan 2013–2018 yillarda 3,73 g/l gacha oshgan, 2019–2025 yillarda esa 3,32 g/l

bo‘lgan. Tuz miqdorining ortishi taxminan 18 foizga oshgan, 2024 yilda esa kuzatuv davridagi eng yuqori darajaga yetgan .

Tadqiqotning cheklovlari aniq. Tahlil faqat to‘rtta kollektor kirimini qamrab oladi, Chordara suv omboridan kelayotgan Sirdaryo oqimi, yog‘in, bug‘lanish va yer osti suvi ma’lumotlari mavjud emas. Ma’lumotlarda aniqlangan nomuvofiqliklar (Chegaraviy 2014 yil, ЦГК 2019 yil va ЦГК dagi uzilishlar) natijalarga ta’sir qilishi mumkin. Shu sababli ilmiy xulosalar kuzatilgan ma’lumotlarga asoslanadi, sababiy bog‘liqliklar esa kelgusi tadqiqotlarda tekshirilishi kerak.

Ushbu natijalardan kelib chiqib quyidagi tavsiyalar beriladi.

Monitoring tizimini takomillashtirish. Gidrologik postlarda suv sarfi, hajm va mineralizatsiya o‘lchovlari muntazam kalibrlanishi va tekshirilishi kerak. Avtomatik datchiklar va sath kuzatuvi keng joriy etilsa, ma’lumotlar ishonchliligi oshadi.

Kirim tarkibini boshqarish. Sho‘rligi yuqori zovurlardan (Oq buloq, Chegaraviy va ARK-1) keladigan suv hajmini nazorat qilish, toza suv kirimi bilan almashtirish imkoniyatlarini ko‘rib chiqish va kollektor-drenaj suvlarini tozalash yoki qayta taqsimlashni o‘rganish zarur.

Suv balansi modelini yaratish. Yog‘in, bug‘lanish, sug‘orish va yer osti suvi ma’lumotlarini o‘z ichiga olgan suv balansi modeli ishlab chiqilsa, kelgusidagi stsenariylar, masalan, toza suv kirimi kamayganda tizim holatini baholash mumkin bo‘ladi [3].

Masofadan zondlash va GAT. Landsat va Sentinel-2 tasvirlari orqali ko‘l suv yuzasi, sho‘rlangan yerlar va tuzli chang tarqalishini muntazam kuzatish, dala o‘lchovlari bilan kalibrlash tavsiya etiladi.

Yer osti suvi va tuproq monitoringi. Ko‘l atrofidagi gidrogeologik quduqlar va tuproq sho‘rlanishini kuzatish tarmog‘ini kengaytirish, ko‘l sifatidagi o‘zgarishning qishloq xo‘jaligi yerlari va suv manbalariga ta’sirini aniqlash uchun kerak.

Ilmiy-amaliy hamkorlik. Gidrologlar, ekologlar, suv xo‘jaligi mutaxassislari va baliqchilik sohasi vakillari o‘rtasida ma’lumot almashinuvi tashkil etilsa, boshqaruv qarorlari umumiy ma’lumotlarga asoslanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Groll M., Kulmatov R., Mullabaev N., Opp C., Kulmatova D. (2016). Rise and decline of the fishery industry in the Aydarkul–Arnasay Lake System (Uzbekistan): effects of reservoir management, irrigation farming and climate change on an unstable ecosystem. Environmental Earth Sciences, 75, 921.

2. Gudalov M. (2022). Changes in water volume and environmental impact in the Aydar-Arnasay lake system. Journal of Geography and Natural Resources. https://topjournals.uz/index.php/ignr

3. Sirojiddinova S., Samiev L., Jalilova Kh. (2026). Modern approaches to water balance models and ecosystem stability assessment in the Aydar-Arnasay lake system: analysis and prospects. Journal of Hydraulic and Engineering, 4(1), 2. https://doi.org/10.35938/jhee-2026-1-00002

4. Ramsar Sites Information Service. Aydar-Arnasay Lakes System, Ramsar Site No. 1841 (designated 20.10.2008, area 527 100 ha). https://rsis.ramsar.org/ris/1841

5. Water level in Aydarkul dropped to 2 meters; its volume decreased to 36.8 billion cubic meters. Kun.uz, 17 February 2023. https://m.kun.uz/en/news/2023/02/17/water-level-in-aydarkul-dropped-to-2-meters-its-volume-decreased-to-368-billion-cubic-meters

6. Wahyuni S., Oishi S., Sunada K., Toderich K.N., Gorelkin N.E. (2009). Analysis of water-level fluctuations in Aydarkul-Arnasay-Tuzkan lake system and its impacts on the surrounding groundwater level. Journal of Japan Society of Civil Engineers (JSCE), 53. https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/9194

7. Erkabaev F., Madrimov R., Nurmatova V. (2024). Status quo analysis of the Aidar-Arnasay Lake System. E3S Web of Conferences, 497, 02025. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449702025

8. Kulmatov R., Mullabaev N., Nigmatov A., Kulmatova D., Sobirov J. (2013). Qualitative and Quantitative Assessment of Water Resources of Aydar Arnasay Lakes System. Journal of Water Resource and Protection, 5, 941–952. https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.510097

9. Kulmatov R., Ruzikulova O., Taylakov A. (2022). Determination and Assessment of Water Resources Balance of Aydar–Arnasay Lake System in Uzbekistan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1068, 012045. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1068/1/012045

10. Akhmadjonova Yo.T. Hydrological description and hydrochemical analysis of the Aydar-Arnasoy lake system. CyberLeninka. https://cyberleninka.ru/article/n/hydrological-description-and-hydrocemical-analysis-of-the-aydar-arnasoy-lake-system

11. Wahyuni S., Oishi S., Sunada K., Toderich K.N. (2013). The estimation of groundwater exchange in Aydarkul–Arnasay lake system by a lake water balance model. Journal of Japan Society of Civil Engineers (JSCE), 54. https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/9198

12. Grechushnikova M.G., Frolov A.V., Aybulatov D.N. (2023). Scenario characteristics of the Aidar-Tuzkan lake system level/mineralization regime. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, No. 5. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_5_1