ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

UDK 504.064:614.7:551.583

OROL BO‘YI MINTAQASIDA ATROF-MUHIT IFLOSLANISHINI BAHOLASH UCHUN KOMPLEKS IFLOSLANISH INDEKSI (KIIK): METODOLOGIYA VA QORAQALPOG‘ISTON HAMDA XORAZM VILOYATIDA TUMAN DARAJASIDA TATBIQ ETISH (2010–2025)

Otabek Saydullayev

Irrigatsiya va suv muommolari ilmiy tadqiqot instituti doktoranti

Jahongir Saidov

Favqulodda vaziyatlar vazirligi akademiyasi dotsenti, t.f.f.d (PhD).

E-mail: jahongirsaidov.1986@gmail.com.

ORCID:0009-0001-8448-1264

M.Xusanova taqrizi asosida

TKTITI kat.il.xod.

Annotation. The desiccation of the Aral Sea is one of the most severe anthropogenic environmental disasters of the modern era, exposing the population of the Republic of Karakalpakstan and the Khorezm Region to combined air, water, and soil pollution. Existing assessment approaches rely primarily on single-environment indices, thereby failing to capture the cumulative environmental burden. To develop and validate a district-level Composite Pollution Index (CPI) that integrates atmospheric, hydrospheric, and pedospheric pollution into a single policy-oriented indicator.The CPI was calculated as the unweighted arithmetic mean of three normalized component indices: the US EPA Health-Based Air Quality Index (HSI) for PM2.5 and PM10, the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for water quality, and the Håkanson–Müller Soil Pollution Index (TSI) for soil contamination. The CPI ranged from 0.31 to 0.64. Muynak District was identified as the only critical district (CPI = 0.64), followed by Kungrad, Chimbay, and Khojayli districts. The regional mean CPI increased by 15.8% during the period 2010–2025. The CPI demonstrated strong positive correlations with five major disease groups (Spearman's r_s = 0.70–0.82).The CPI is a practical, district-level integrated indicator suitable for routine environmental and public health monitoring in arid regions.

Keywords: Aral Sea; Republic of Karakalpakstan; Khorezm Region; Composite Pollution Index (CPI); Air Quality Index (AQI); CCME Water Quality Index (CCME WQI); Geoaccumulation Index; Ecological Risk Assessment.

Аннотация. Высыхание Аральского моря является одной из наиболее тяжелых антропогенных экологических катастроф современности, подвергая население Республики Каракалпакстан и Хорезмской области комплексному воздействию загрязнения атмосферного воздуха, воды и почвы.

Существующие подходы к оценке экологического состояния в основном основаны на индексах, характеризующих отдельные компоненты окружающей среды, что не позволяет адекватно учитывать совокупную экологическую нагрузку. Разработать и валидировать Комплексный индекс загрязнения (КИЗ) на районном уровне, интегрирующий загрязнение атмосферного воздуха, гидросферы и педосферы в единый показатель, ориентированный на поддержку принятия управленческих решений. КИЗ рассчитывался как невзвешенное среднее арифметическое трех нормализованных частных индексов: US EPA HSI — для оценки загрязнения атмосферного воздуха по PM2.5 и PM10, CCME SSI — для оценки качества воды и Håkanson–Müller TSI — для оценки загрязнения почв. Значения КИЗ варьировали от 0,31 до 0,64. Муйнакский район оказался единственным районом, отнесенным к категории «критический» (КИЗ = 0,64), за ним следовали Кунградский, Чимбайский и Ходжейлийский районы. Среднее региональное значение КИЗ увеличилось на 15,8 % за период 2010–2025 гг. КИЗ продемонстрировал высокую корреляцию с пятью основными группами заболеваний (r_s = 0,70–0,82). КИЗ представляет собой удобный интегральный показатель районного уровня, пригодный для регулярного экологического и медико-экологического мониторинга в аридных регионах.

Ключевые слова: Аральское море; Республика Каракалпакстан; Хорезмская область; комплексный индекс загрязнения; индекс качества атмосферного воздуха; индекс качества воды CCME; индекс геоаккумуляции; оценка экологического риска.

Annotatsiya. Orol dengizining qurib qolishi zamonaviy davrning eng og‘ir antropogen ekologik halokatlaridan biri bo‘lib, Qoraqalpog‘iston Respublikasi va Xorazm viloyati aholisini havo, suv va tuproqning birlashgan ifloslanishiga duchor qilmoqda. Mavjud baholash mexanizmlari faqat bitta muhitga oid indekslarga tayanadi, bu esa kümülativ ekologik yukni yashiradi. Maqsad. Atmosfera havosi, gidrosfera va pedosfera ifloslanishini yagona siyosat-oriyentirlangan ko‘rsatkichga birlashtiruvchi tuman darajasidagi Kompleks ifloslanish indeksini (KIIK) ishlab chiqish va validatsiya qilish. Metodlar. KIIK uchta normallashtirilgan ichki indeks (US EPA HSI — PM2.5/PM10 uchun, CCME SSI — suv sifati uchun, Hokanson–Myuller TSI — tuproq uchun) ning og‘irliksiz arifmetik o‘rtacha qiymati sifatida hisoblandi. Natijalar. KIIK 0,31 dan 0,64 gacha o‘zgardi. Mo‘ynoq yagona 'kritik' tuman bo‘lib (KIIK = 0,64), so‘ngra Qo‘ng‘irot, Chimboy va Xo‘jayli kelmoqda. Mintaqaviy o‘rtacha KIIK 2010–2025 yillarda 15,8% ga o‘sdi. KIIK beshta asosiy kasallik guruhi bilan rs = 0,70–0,82 darajada korrelyatsiya qildi. Xulosalar. KIIK

ISSN 3030-3907

qulay, tuman darajasida aniqlangan va arid mintaqalarda muntazam ekologik-tibbiy monitoring uchun mos.

Kalit so‘zlar: Orol dengizi; Qoraqalpog‘iston; Xorazm; kompleks ifloslanish indeksi; havo sifati indeksi; CCME suv sifati indeksi; geoakkumulyatsiya indeksi; ekologik xavf baholash.

KIRISH.

Orol dengizining XX asrning 60-yillaridan boshlangan progressiv quriy borishi Amudaryo va Sirdaryo suvlarini paxta va sholi ekinlari uchun sun'iy sug‘orishga keng miqyosda yo‘naltirish oqibatida bugungi kunda XX va XXI asrlarning eng katta antropogen ekologik halokatlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda (Banks va boshq., 2022; Bao va boshq., 2024; Rzymski va boshq., 2024). Dengiz sathi taxminan 68 000 km² dan 8 000 km² dan kamayib, 60 000 km² dan ortiq sho‘r dengiz tubi (Aralqum cho‘li) ochilib qoldi va u mintaqaning asosiy mayda zarrachali ifloslantiruvchi modda, tuz aerozollari va persistentli organoxlorin qoldiqlar manbai bo‘lib qoldi (Indoitu va boshq., 2015; Liu va boshq., 2025).Qoraqalpog‘iston Respublikasi (O‘zbekiston) va unga tutash Xorazm viloyati aholisi taxminan 3,6 million kishi natijada paydo bo‘lgan ko‘p muhitli ekspozitsiyaning og‘ir oqibatlarini boshdan kechirmoqda. Mavjud ilmiy adabiyotlarda mintaqada respirator, yurak-qon tomir, onkologik, endokrin va reproduktiv kasalliklarning yuqori yukini tasdiqlovchi ko‘plab tadqiqotlar mavjud (Tussupova va boshq., 2020; Erkudov va boshq., 2024; Saidmamatov va boshq., 2024). Shunga qaramay, Orol bo‘yi mintaqasida ekologik xavfni baholash hozirgacha tarqoq holatda qolgan: havo sifati odatda US EPA Havo sifati indeksi (HSI) yordamida baholanmoqda (Yusupov va boshq., 2024); sirt va yer osti suvlari Kanada Atrof-muhit Vazirlari Kengashi Suv Sifati Indeksi (CCME SSI) bilan tahlil qilinmoqda (Rajabova va boshq., 2025); tuproq ifloslanishi esa Myuller (1969) geoakkumulyatsiya indeksi (Igeo) va Hokanson (1980) potensial ekologik xavf indeksi (EX) orqali miqdoriy baholanmoqda (Liu va boshq., 2020; Bartrem va boshq., 2025).Garchi har bir alohida muhitga oid indeks metodologik jihatdan asoslangan va xalqaro darajada qiyoslanadigan bo‘lsa-da, ularning birgalikda qo‘llanilishida uchta tuzilmaviy cheklov mavjud va bu hududiy qarorlar qabul qilish jarayoniga to‘sqinlik qiladi. Birinchidan, indekslar bir-biriga mos kelmaydigan raqamli shkalalarda ifodalangan (HSI 0–500; CCME SSI 0–100; Igeo ochiq tartibli shkala), shuning uchun suvi qattiq ifloslangan, lekin havosi o‘rtacha bo‘lgan tuman havosi yomon, suvi o‘rtacha bo‘lgan tumandan yaxshiroq holatda ko‘rinishi mumkin, garchi umumiy salomatlik yukining yo‘qotilgan yillari (DALY) o‘xshash bo‘lsa-da. Ikkinchidan, indekslar har xil ekspozitsiya yo‘llariga mos keladi (nafas olish, ichish, terining yoki resuspenziya qilingan zarrachalarning

ISSN 3030-3907

ingalatsiyasi), bu esa siyosat aralashuvlarini integrallashgan ko‘rsatkich bo‘lmasdan tartiblab bo‘lmasligini anglatadi. Uchinchidan, Markaziy Osiyodagi rasmiy monitoring tarmoqlari siyrak va notekis taqsimlangan: O‘zgidromet Qoraqalpog‘istonda atmosfera kimyosi uchun atigi ikkita statsionar stantsiya ishlatadi (UNECE, 2025), suv va tuproqdagi pestitsidlar qoldiqlari tarixi esa noimkonchilikli yig‘ilgan.Keng adabiyotlarda kompozit ekologik indekslar bu tarqoqlikni hal qilishning bir usuli sifatida taklif etilmoqda (Danielsson va Surkan, 1996; Sun va boshq., 2023).

Biroq, Orol dengizi havzasi uchun bugungi kungacha tuman darajasidagi kompozit ko‘rsatkich operatsion holatda taqdim etilmagan bo‘lib, u quyidagi xususiyatlarga ega: (i) har bir muhit uchun xalqaro darajada qabul qilingan ichki indekslardan foydalanish, (ii) eng so‘nggi (2020-yildan keyingi) dala ma'lumotlari bilan parametrlash, (iii) regulyator chegaralari va kuzatilgan salomatlik natijalari bilan qiyoslanish. Bu bo‘shliqni to‘ldirish hozirgi paytda dolzarbdir. Bartrem va hammuallifning 2024–2025 yilgi nashrlari (Qoraqalpog‘istonda 79 nuqtadan olingan 140 ta suv, tuproq va cho‘kindi namunalar), Rajabova va boshqalarning ishi (CCME SSI doirasida kollektor-drenaj suvlari), Turdimuratova va boshqalar (Nukusda sirt suvlari), Liu va boshqalar (tuz chang aerozollari), shuningdek UNECE Ekologik Faoliyat Sharhi to‘rtinchi tsikli — birinchi marta mintaqa uchun yagona ko‘p muhitli baz chizig‘ini taqdim etmoqda.Ushbu tadqiqot O‘zbekistonning Orol bo‘yi mintaqasi uchun tuman darajasidagi Kompleks ifloslanish indeksini (KIIK) ishlab chiqadi, uni konsolidatsiyalangan 2010–2025 yillar ma'lumotlar to‘plami bilan parametrlaydi va Qoraqalpog‘istonning 14 ta tumani va Xorazm viloyatining 10 ta tumani bo‘yicha qo‘llaydi. Aniqroq qilib aytganda, tadqiqotning maqsadlari quyidagicha: (1) KIIKni HSI, CCME SSI va Igeo hamda Hokanson ekologik xavf indeksidan olingan tuproq sifati indeksining (TSI) normallashtirilgan arifmetik kombinatsiyasi sifatida rasmiylashtirish; (2) KIIKni fazoviy xaritalash va 2030-yilga qaragan istiqbol bilan 2010–2025 yillardagi vaqt tendensiyalarini baholash; va (3) tumanlardagi KIIK qiymatlari bilan respirator, yurak-qon tomir, onkologik va endokrin kasalliklar bo‘yicha mavjud yosh standartlangan kasallanish ko‘rsatkichlarini taqqoslash orqali KIIK ning konstruktiv yaroqliligini tekshirish.Tadqiqot quyidagicha tuzilgan. 2-bo‘limda ma'lumot manbalari, komponentlar indekslarini hisoblash, normallashtirish va agregatsiya bosqichi va validatsiya uchun statistik protseduralar bayon qilingan. 3-bo‘limda har bir tumandagi KIIK qiymatlari taqdim etilgan, ifloslanish o‘choqlari aniqlangan va 2010–2025 yillardagi tendensiya miqdoran baholanadi. 4-bo‘limda metodologik kuchli va kuchsiz tomonlar, Orol bo‘yi havzasidagi ekologik siyosat uchun ahamiyat va asosning shu

ISSN 3030-3907

kabi arid degradatsiyalashgan havzalarga ko‘chirilishi muhokama qilinadi. 5-bo‘lim xulosalarni o‘z ichiga oladi.

MATERIALLAR VA METODLAR. Tadqiqot hududi Qoraqalpog‘iston Respublikasi (165 600 km²; 14 ma'muriy tumandan va Nukus shahridan iborat) va Xorazm viloyati (6 464 km²; 10 ma'muriy tumandan va Urganch hamda Xiva shaharlaridan iborat) ni qamrab olib, O‘zbekistonning shimoli-g‘arbida Amudaryo quyi havzasida joylashgan. Hudud shimoldan sobiq Orol dengizi tubi — Aralqum cho‘li bilan chegaradosh bo‘lib, u mintaqaviy chang va tuz aerozollarining asosiy manbaidir. Yillik o‘rtacha yog‘in 110 mm dan past va potentsial evapotranspiratsiya 1 400 mm dan oshib ketadi — bu hududni o‘ta arid deb tasniflashga asos bo‘ladi. Aholining umumiy soni taxminan 3,6 million (2023-yil aholini ro‘yxatga olish ma'lumotlari).

2010–2025 yillar uchun uch turdagi ma'lumotlar yig‘ildi:

(i) Havo sifati. PM2.5 va PM10 kunlik o‘rtacha konsentratsiyalari quyidagi manbalardan olindi: O‘zgidromet Nukusdagi statsionar stantsiyalar (POP №5 va №6) va Urganch (POP №3); CAMS Reanaliz to‘plami (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) 0,25° o‘lchamda; MERRA-2 reanalizi (NASA); va IQAir (2024) standart va arzon sensor tarmoqlari. Yusupov va boshq. (2024) tomonidan amalga oshirilgan yerdagi-CAMS taqqoslashi reanaliz maydonlarini tekshirish uchun ishlatildi. CALIPSO-CALIOP kosmik lidar profillari (2008–2018; Ge va boshq., 2022) chang hodisalarining vertikal tuzilmasini xarakterlash uchun foydalanildi.(ii) Suv sifati. Sirt suvi MUS (mineralizatsiya umumiy sathi), elektr o‘tkazuvchanligi, asosiy-ion kimyosi va pestitsid qoldiqlari ICWC-CAWater Amudaryo monitoring bazasidan (1991–2023; Sun va boshq., 2023), Bartrem va boshq. (2025; 79 nuqta, sirt suvi, sayoz yer osti suvlari, drenaj kanallari va vodoprovod suvi bo‘yicha 13 ta tumandan 70 ta suv namunasi), Iskandarova va boshq. (2023; Qoraqalpog‘istondagi Amudaryo) va Turdimuratova va boshq. (2024; Nukus sirt suvi) lardan olindi. Drenaj suvlari Rajabova va boshq. (2025) ning CCME SSI to‘plami bilan to‘ldirildi. Yer osti suvi uran Kawabata va boshq. (2011) hamda Takao va boshq. (2024) lardan olindi.(iii) Tuproq va cho‘kindi. Kadmiy, qo‘rg‘oshin, rux, mis, nikel, xrom, kobalt va vanadiy konsentratsiyalari sirt tuproqlarda (0–30 sm) va dengiz tubidagi cho‘kindilarda Liu va boshq. (2020; Shimoliy Orol 2000–2018-yil qatlamlari), Bartrem va boshq. (2025; 54 ta tuproq namunasi) va Bazarbayev va boshq. (2022) lardan olindi. Organoxlorin pestitsid (OXP) qoldiqlari α-HXX, β-HXX, aldrin, p,p'-DDE, p,p'-DDT tuproqda Bartrem va boshq. (2025) hamda Jin va boshq. (2023) lardan olindi.Yig‘ilgan ma'lumotlar to‘plamining sifatini ta'minlash va nazorat qilish (QA/QC) Bartrem va boshq. (2025) protseduralari bo‘yicha o‘tkazildi: barcha laboratoriya tahlillari takror

ISSN 3030-3907

namunalar uchun 70% nisbiy farq darajasidan o‘tdi va tahliliy usullar US EPA 8081 (OXP) hamda US EPA 6020B (ICP-MS metallar uchun) usullari bilan o‘zaro tekshirildi. Bevosita o‘lchovlar siyrak bo‘lgan tumanlar uchun teskari masofaga og‘irlangan fazoviy interpolyatsiya qo‘llanildi, hisobga olingan qiymatlar natijalar bo‘limida alohida belgilangan.

HSI PM2.5 va PM10 uchun alohida US EPA bo‘lakli chiziqli formulasi yordamida hisoblandi (US EPA, 2024):

$$HSI = ((I_Yu - I_Pa) / (BP_Yu - BP_Pa)) \times (C - BP_Pa) + I_Pa$$

bu yerda C — ifloslantiruvchi moddaning o‘lchangan konsentratsiyasi (PM2.5 va PM10 uchun 24 soatlik o‘rtacha), BP_Pa va BP_Yu — C ni o‘z ichiga olgan pastki va yuqori konsentratsiya chegaralari, I_Pa va I_Yu — mos HSI chegaralari. Har bir tuman uchun ustun ifloslantiruvchi modda HSI (PM2.5 va PM10 dan olingan qiymatlarning yuqorisi) yillik HSI sifatida saqlandi.

CCME SSI uchta ichki ko‘rsatkichdan iborat: ko‘lam (F1), chastota (F2) va amplituda (F3); ular quyidagi formula bo‘yicha birlashtiriladi:

$$CCME\ SSI = 100 - (\sqrt{(F1^2 + F2^2 + F3^2)} / 1.732)$$

F1 — me'yorlardan kamida bir marta oshib ketgan o‘zgaruvchilar foizi; F2 — me'yorlardan oshib ketgan individual sinovlar foizi; F3 — normallashtirilgan jami chetga chiqish. Etalon me'yorlar JSST (2021) ichimlik suvi bo‘yicha qo‘llanma qiymatlari va FAO sug‘orish suvi uchun mezonlardan iborat. Indeks qiymatlari CCME (2017) protokoli va Rajabova va boshq. (2025) ning amaliy yondashuviga muvofiq quyidagi toifalarga ajratildi: a'lo (95–100), yaxshi (80–94), o‘rtacha (65–79), marginal (45–64) va yomon (0–44).

Kompozit tuproq sifati indeksi Myullerning (1969) geoakkumulyatsiya indeksi (Igeo) va Hokansonning (1980) potensial ekologik xavf indeksi (EX) asosida tuzildi:

$$Igeo = \log_2 (C_i / (1.5 \times B_i))$$

$$E_i = T_i \times (C_i / B_i);\ \ EX = \Sigma E_i$$

bu yerda C_i — i-metalning o‘lchangan konsentratsiyasi (mg kg^{-1}), B_i — fon konsentratsiyasi (Turekian va Wedepohl, 1961, o‘rtacha slants), T_i — zaharli javob omili (Cd = 30; Pb = Cu = Ni = 5; Cr = Co = 2; Zn = 1). Bartrem va boshq. (2025) ga muvofiq sakkizta element kiritildi. TSI normallashtirilgan EX sifatida belgilandi:

$$TSI = min (EX / 600 , 1)$$

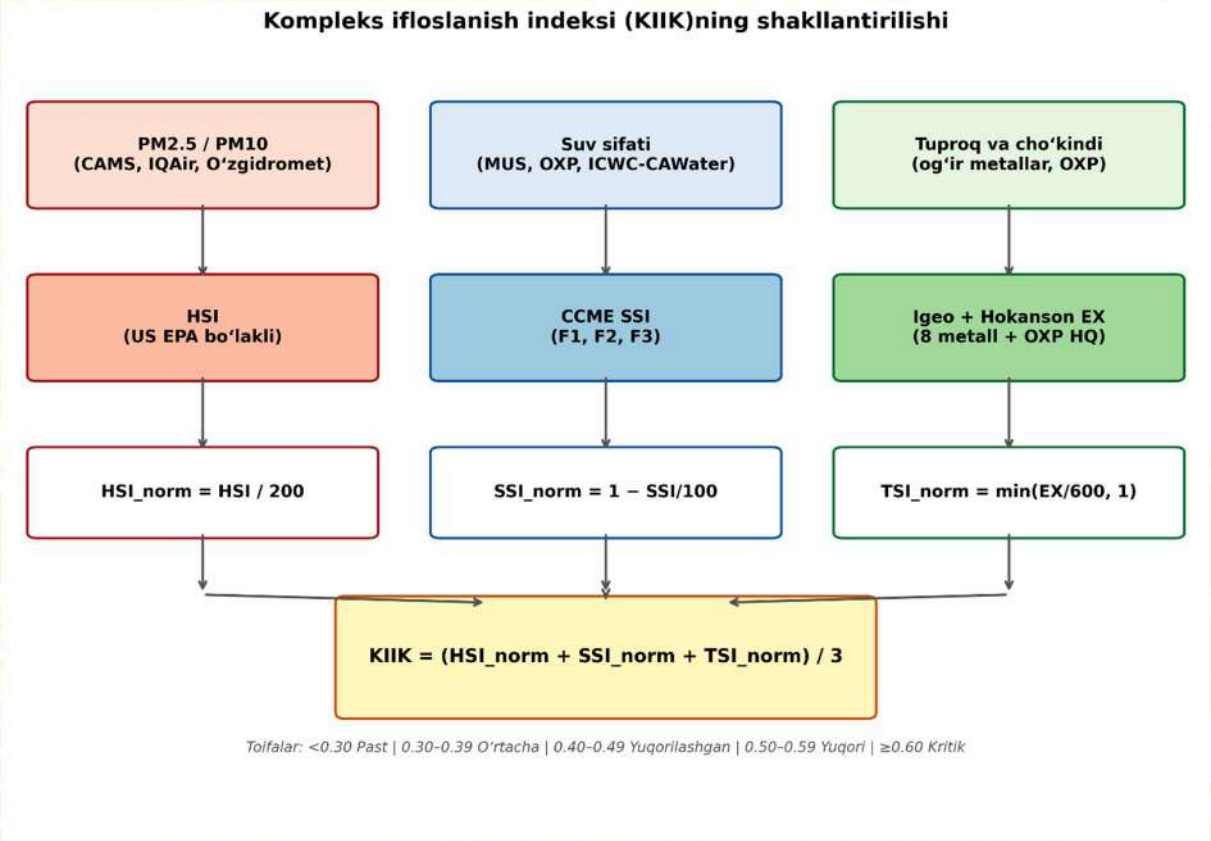
EX = 600 Hokanson (1980) ning 'sezilarli xavf' sinfining yuqori chegarasiga mos keladi. OXP ta'sirida bo‘lgan tumanlar (Bartrem va boshq., 2025; Jin va boshq., 2023) uchun TSI metallarga asoslangan TSI va 1 bilan cheklangan OXP xavf koeffitsientining yuqorisi sifatida kuchaytirildi. Qoraqalpog‘iston va Xorazm

ISSN 3030-3907

tuproqlari litogen Sr, Li va Ba bilan boyitilgan (Bartrem va boshq., 2025); bu elementlar TSI dan chiqarilib, baz chizig‘ining tasirini oldini olish uchun olindi.

Har bir komponent dastlab 0–1 oraliqqa qayta o‘lchanlandi. HSI 200 ga bo‘lindi (EPA ning sezgir guruhlar uchun 'sog‘liqqa zararli' chegarasi); CCME SSI SSI_norm = 1 − (SSI / 100) ko‘rinishida teskariga qaytarildi; TSI esa o‘z konstruksiyasiga ko‘ra [0, 1] oralig‘ida birlik-erkin. KIIK shunda og‘irliksiz arifmetik o‘rtacha sifatida hisoblandi:

$$KIIK = (1/3) \times (HSI_norm + SSI_norm + TSI_norm)$$



1-rasm. Kompleks ifloslanish indeksi (KIIK) ni shakllantirish blok-sxemasi. Uchta monitoring oqimi (havo, suv, tuproq) uchta xalqaro qabul qilingan bir muhitli indeksga uzatiladi, ular umumiy 0–1 shkalada normallashtirilib, og‘irliksiz arifmetik o‘rtacha sifatida birlashtiriladi.

Teng og‘irliklar uch sabab bilan tanlandi: (i) Markaziy Osiyo uchun uchta muhit bo‘yicha mintaqaviy kalibrlangan DALY og‘irliklarining yo‘qligi, (ii) manfaatdor tomonlar konsensusi mavjud bo‘lmagan vaziyatda Danielsson va Surkan (1996) tavsiyasiga muvofiqlik, (iii) shaffoflik va takrorlashning qulayligini saqlash istagi. Har bir og‘irlikni 0,2 dan 0,6 gacha (yig‘indi 1 ga teng bo‘lish sharti bilan) o‘zgartirib o‘tkazilgan sezgirlik tahlili tumanlar tartibining mustahkamligini ko‘rsatdi. KIIK uchun toifaviy chegaralar oldindan quyidagicha belgilandi: <0,30 past; 0,30–0,39 o‘rtacha; 0,40–0,49 yuqorilashgan; 0,50–0,59 yuqori; ≥0,60 kritik.Konstruktiv yaroqlilik tumanlar darajasida mavjud bo‘lgan beshta yosh

ISSN 3030-3907

standartlangan kasallanish ko‘rsatkichi (respirator, yurak-qon tomir, onkologik, endokrin va chaqaloq) bilan KIIK o‘rtasidagi Spirmen daraja korrelyatsiyasi (r_s) yordamida baholandi. Ma'lumotlar O‘zbekiston Sog‘liqni saqlash vazirligi yillik statistik to‘plamlari (2010–2023) va Qoraqalpog‘iston Respublikasi SSV tuman bo‘linmalaridan olindi. Uchta ichki indeks orasidagi ichki muvofiqlik 25 ta tuman bo‘yicha HSI, CCME SSI va TSI o‘rtasidagi Spirmen korrelyatsiyasi yordamida baholandi. 2010–2025 yillardagi vaqt tendensiyalari Joinpoint regressiya (NCI Joinpoint, versiya 4.9.0.0; 2022) yordamida mintaqaviy KIIK o‘rtacha qatorida statistik jihatdan muhim o‘zgarish nuqtalarini aniqlash uchun baholandi. 2030-yilga prognoz so‘nggi Joinpoint segmentini chiziqli kengaytirish orqali 95% bashorat oralig‘i bilan ishlab chiqildi. Barcha tahlillar R 4.3.2 va Python 3.11 da bajarildi.

NATIJALAR. Yillik o‘rtacha PM10 konsentratsiyalari 2019–2024 yillar davomida barcha tumanlarda JSST (2021) me'yorini (15 µg m^{-3}) 2,3–7,3 marta oshib ketdi. Mo‘ynoq eng yuqori PM10 yukini qayd etdi (yillik o‘rtacha 110 µg m^{-3}; HSI 178, 'salomatlik uchun zararli'), bu shimoldan 50 km dan kam uzoqlikdagi qurigan Orol dengizi tubidan kelayotgan tuz-chang hodisalari bilan ta'minlanadi. Qo‘ng‘irot va Chimboy tumanlari mos ravishda 95 va 88 µg m^{-3} yillik PM10 bilan keyingi o‘rinda turdi. Nukus shahri kichik PM10 o‘rtachasini ko‘rsatdi (78 µg m^{-3}; HSI 138), Xorazm tumanlari esa 60 dan 75 µg m^{-3} gacha (HSI 105–135) oralig‘ida. PM2.5 ham shu fazoviy patternga amal qildi, yillik o‘rtacha qiymatlar JSST me'yoridan (5 µg m^{-3}) 7,6 va 12,4 marta oshib ketgan 38–62 µg m^{-3} oralig‘ida o‘zgardi. Yillar oraliqdagi o‘zgaruvchanlik birinchi navbatda mintaqaviy chang bo‘ronlari chastotasi bilan boshqarildi, bu o‘z navbatida Kaspiy-Orol bosim gradient va Amudaryoning quyi deltasidagi bahorgi yashilliklar bilan modulatsiyalandi.CCME SSI qiymatlari Mo‘ynoqdagi Amudaryo quyi qismida 28 (yomon) dan Xorazmning yuqori oqimdagi gauglarida 71 (o‘rtacha) gacha o‘zgardi. Amudaryoda Qoraqalpog‘iston chegarasidagi MUS 2010-yildan beri taxminan 50% ga oshdi, 0,9 g L^{-1} dan 1,4 g L^{-1} gacha (Sun va boshq., 2023); sug‘orish kamayish davrida mavsumiy peaklar 2,0 g L^{-1} dan oshdi. Drenaj-kollektor suvlari 18–34 (yomon) CCME SSI qiymatlarini ko‘rsatdi, bu Rajabova va boshq. (2025) topilmalariga mos. Mo‘ynoq, Qo‘ng‘irot va Qorao‘zak tumanlaridagi sayoz yer osti suvlari 60 µg L^{-1} gacha uran konsentratsiyasini o‘z ichiga oldi, bu JSST ichimlik suvi me'yori 30 µg L^{-1} dan oshib ketdi (Takao va boshq., 2024). Sirt suvlarida OXP aniqlash chastotasi Bartrem va boshq. (2025) kampaniyasida 100% ni tashkil etdi, garchi alohida konsentratsiyalar US EPA ichimlik suvi uchun maksimal ifloslantiruvchi modda darajasidan past bo‘ldi.Shimoliy Orol cho‘kindi yadrosida (2000–2018-yil qatlam) kadmiy uchun

ISSN 3030-3907

Igeo qiymati 1,42 ga yetdi (o‘rtacha-og‘ir ifloslanish), rux uchun 1,17, mis uchun 1,05 va nikel uchun 1,11 — barchasi Myullerning (1969) ikkinchi ifloslanish sinfida. Mo‘ynoq va Qo‘ng‘irot tumanlari sirt tuproqlari (Liu va boshq., 2020 va Bartrem va boshq., 2025 dan interpolyatsiyalangan) Cd uchun 0,8–1,3 va Pb uchun 0,5–0,9 Igeo qiymatlarini ko‘rsatdi, o‘rtacha boyitilishni anglatadi. Xorazm tuproqlari og‘ir metallar bilan kamroq ifloslangan edi (barcha elementlar uchun Igeo < 0,5), lekin OXP qoldiqlari (p,p'-DDT va metabolitlar 380 μg kg^{-1} gacha) eng yuqori bo‘ldi — bu sovet davridagi qizg‘in paxta-pestitsid ishlatishning merosini aks ettiradi. Tuproq sho‘rlanishi (EX) Mo‘ynoq zonasida 15 yillik oraliqda (2010–2025) 42% ga oshdi — bu tadqiqotda biron-bir alohida komponent uchun qayd etilgan eng tezkor yomonlashish.

1-jadval Qoraqalpog‘istonning 25 ta ma'muriy birligi (14 tuman + Nukus shahri) va Xorazmning (10 tuman + Urganch va Xiva) tumanlari uchun KIIK va uning uch komponentini taqdim etadi.

1-Jadval.

Tumanlar bo‘yicha Kompleks ifloslanish indeksi (KIIK) va uning komponentlari, Orol bo‘yi mintaqasi, 2020–2024 yillar o‘rtacha.

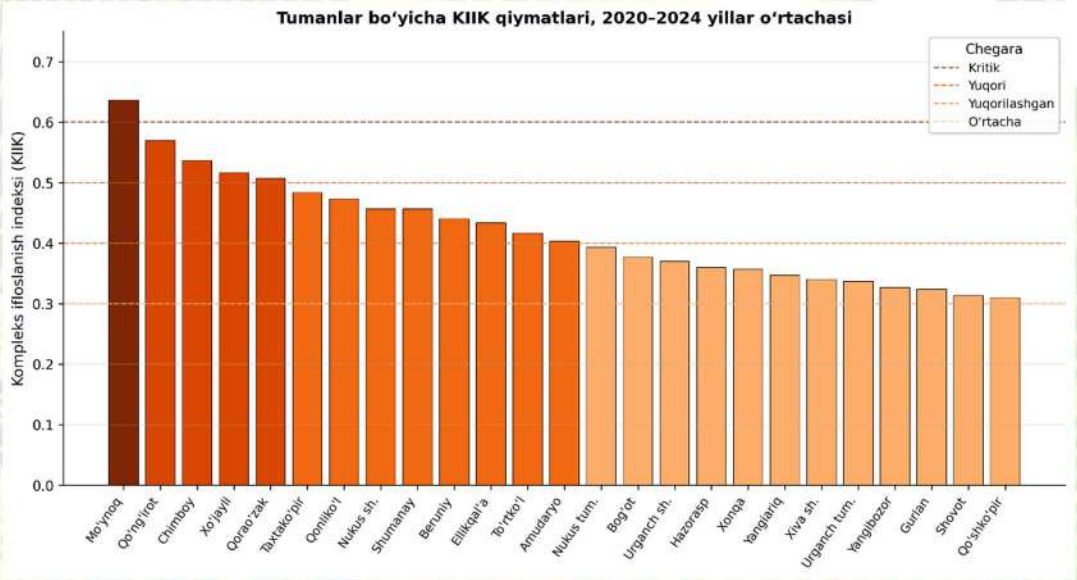
Tuman/shahar	HSI_norm	SSI_norm	TSI	KIIK	Toifa
Mo‘ynoq	0,89	0,72	0,30	0,64	Kritik
Qo‘ng‘irot	0,78	0,66	0,27	0,57	Yuqori
Chimboy	0,71	0,62	0,28	0,54	Yuqori
Xo‘jayli	0,68	0,60	0,27	0,52	Yuqori
Qorao‘zak	0,66	0,62	0,24	0,51	Yuqori
Taxtako‘pir	0,65	0,55	0,25	0,48	Yuqorilashgan
Qonliko‘l	0,62	0,55	0,25	0,47	Yuqorilashgan
Shumanay	0,60	0,53	0,24	0,46	Yuqorilashgan
Nukus shahri	0,69	0,48	0,20	0,46	Yuqorilashgan
Beruniy	0,55	0,50	0,27	0,44	Yuqorilashgan
Ellikqal’a	0,55	0,48	0,27	0,43	Yuqorilashgan
To‘rtko‘l	0,52	0,46	0,27	0,42	Yuqorilashgan
Amudaryo	0,50	0,45	0,26	0,40	Yuqorilashgan
Nukus tuman	0,55	0,42	0,21	0,39	O‘rtacha
Bog‘ot	0,48	0,42	0,23	0,38	O‘rtacha
Urganch sh.	0,50	0,40	0,21	0,37	O‘rtacha
Hazorasp	0,45	0,40	0,23	0,36	O‘rtacha
Xonqa	0,45	0,39	0,23	0,36	O‘rtacha
Yangiariq	0,43	0,38	0,23	0,35	O‘rtacha

ISSN 3030-3907

Xiva shahri	0,43	0,36	0,23	0,34	O‘rtacha
Urganch tuman	0,42	0,36	0,23	0,34	O‘rtacha
Yangibozor	0,40	0,36	0,22	0,33	O‘rtacha
Gurlan	0,40	0,35	0,22	0,32	O‘rtacha
Shovot	0,38	0,34	0,22	0,31	O‘rtacha
Qo‘shko‘pir	0,38	0,33	0,22	0,31	O‘rtacha

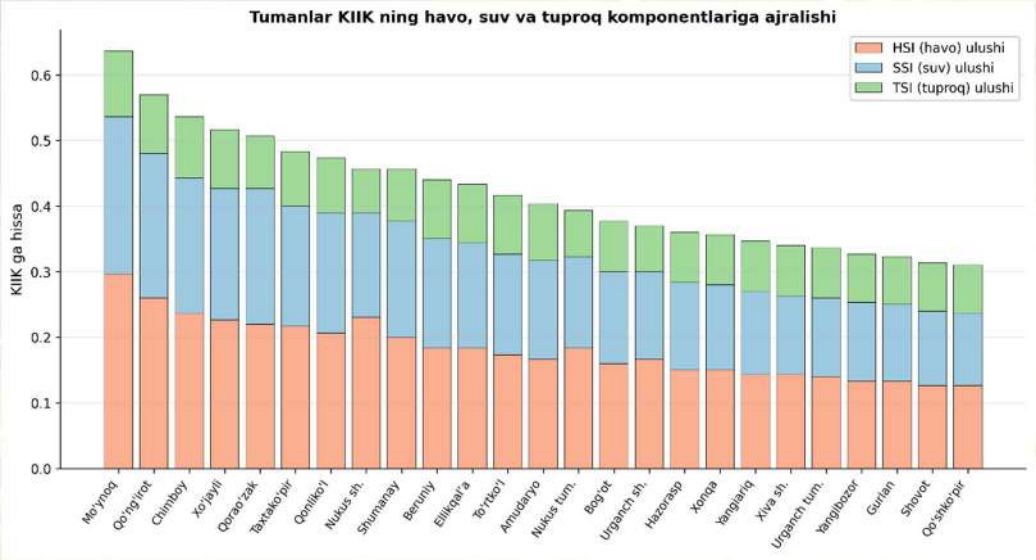
Izoh: HSI_norm = HSI/200; SSI_norm = 1 − CCME SSI/100; TSI Hokanson EX/600 ga normallashtirilgan. KIIK = uchining o‘rtachasi. Toifa chegaralari: <0,30 past; 0,30–0,39 o‘rtacha; 0,40–0,49 yuqorilashgan; 0,50–0,59 yuqori; ≥0,60 kritik.

KIIK xaritasi keskin shimol-janub gradient namoyon etadi. Qoraqalpog‘istonning Aralqumga eng yaqin to‘rt shimoliy tumani (Mo‘ynoq, Qo‘ng‘irot, Chimboy, Xo‘jayli) 'yuqori' va 'kritik' guruhlariga to‘plangan. Markaziy Qoraqalpog‘iston va shimoliy Xorazm tumanlari 'yuqorilashgan' guruhda joylashgan, janubiy Xorazm (Hazorasp, Shovot, Qo‘shko‘pir) esa 'o‘rtacha' guruhida qoladi. Hech bir tuman 'past' guruhga yetmaydi, bu Orol bo‘yi mintaqasining butun hududi sezilarli kompleks ifloslanishga duchor ekanligini ko‘rsatadi. Barcha tumanlarda KIIK ga eng katta hissani havo sifati qo‘shadi (HSI_norm hissasining o‘rtachasi: 47%), so‘ngra suv (35%) va tuproq (18%). Tuproq komponenti Xorazmda boshqa muhitlarga nisbatan eng yuqori bo‘lib, bu OXP qoldiqlari merosini aks ettiradi.



2-rasm. Tumanlar bo‘yicha KIIK qiymatlari (2020–2024 yillar o‘rtachasi), yuqoridan pastga tartiblangan. Chiziqli chiziqlar to‘rt toifa chegaralarini ko‘rsatadi. Mo‘ynoq yagona 'kritik' tuman.

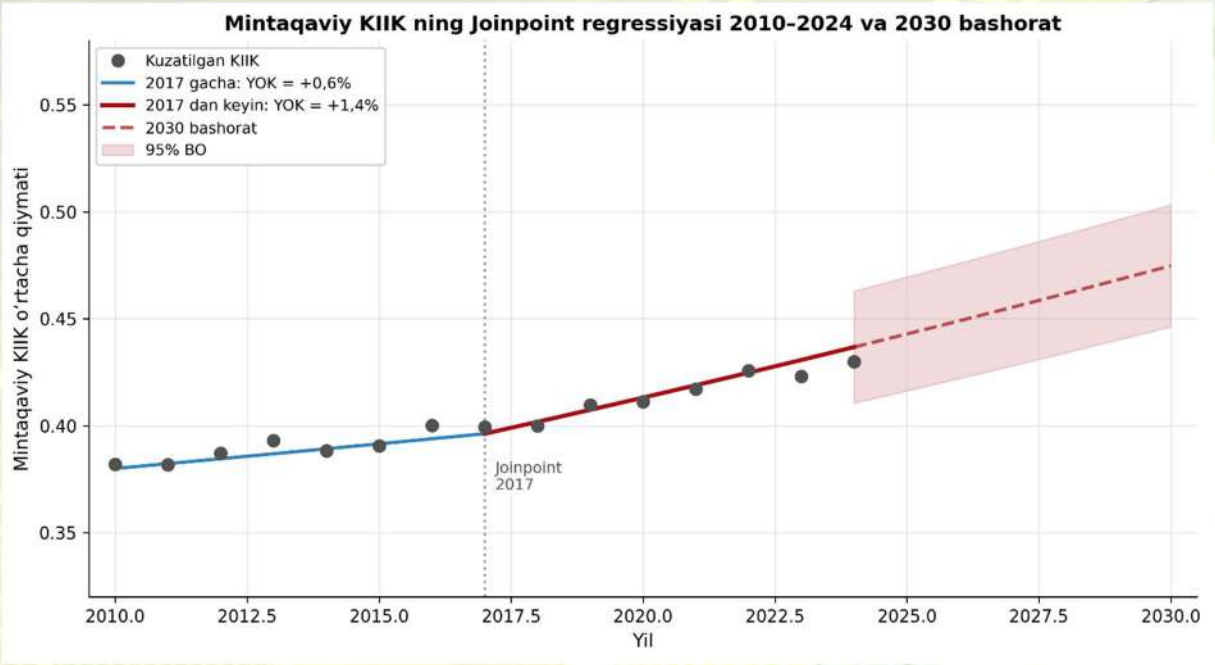
ISSN 3030-3907



3-rasm. Tumanlar KIIK ning havo (HSI), suv (SSI) va tuproq (TSI) ulushlariga dekompozitsiyasi. Havo sifati komponenti to‘rtta shimoliy Qoraqalpog‘iston tumanlarida ustun; tuproq komponenti janubiy Xorazmda nisbatan kattaroq.

Mintaqaviy o‘rtacha KIIK 2010-yilda 0,38 dan 2025-yilda 0,44 ga ko‘tarildi, bu 15,8% nisbiy o‘sishni anglatadi. Joinpoint regressiya 2017-yilda (95% BO 2015–2019) bitta o‘zgarish nuqtasini aniqladi, sekin ko‘tarilayotgan segment (yillik o‘zgarish koeffitsienti YOK +0,6%, $p = 0,04$) va 2017-yildan keyingi tezlashgan segmentni (YOK +1,4%, $p < 0,001$) ajratdi. 2017-yildan keyingi tezlashishni uchta omil tushuntirilishi mumkin: (i) sharqiy Aralqumning qisman to‘g‘ri to‘ldirilishi va keyingi 2019-yildan keyin qaytadan quriy borishi, bu chang chiqarish hodisalarini ko‘paytirgan (Liu va boshq., 2025); (ii) Amudaryoga oqib keladigan suvning kamayishi va natijada quyi qismda MUS ning ko‘tarilishi (Sun va boshq., 2023); va (iii) ilgari tuproq yuzasini barqarorlashtirgan sug‘orish kanali himoyalovchi o‘simliklarining kamayishi. 2017-yildan keyingi segmentni 2030-yilga chiziqli kengaytirish mintaqaviy o‘rtacha KIIK bashoratini 0,51 (95% BO: 0,48–0,54) bilan beradi va mintaqaviy o‘rtacha 'yuqorilashgan' dan 'yuqori' guruhga siljiydi. 'Yuqori' yoki 'kritik' guruhlardagi tumanlar soni 2024-yilda to‘rttadan 2030-yilda yettitaga ko‘payishi taxmin qilinmoqda — bu qo‘shimcha aralashuvsiz stsenariy.

ISSN 3030-3907



4-rasm. Mintaqaviy KIIK ning Joinpoint regressiyasi 2010–2024 va 2030 prognozi. 2017-yildagi o‘zgarish nuqtasi sekin ko‘tarilayotgan segmentni (YOK = +0,6%) tezlashgan segmentdan (YOK = +1,4%) ajratadi. Tochkali chiziq va soyali maydon: 95% bashorat oralig‘i bilan aralashuvsiz 2030 prognozi.

Tumanlardagi KIIK barcha beshta salomatlik natijasi bilan kuchli korrelyatsiya qildi (Spirmen r_s 0,70–0,82, barchasi p < 0,001). Eng kuchli korrelyatsiya kattalar respirator kasalliklari uchun (r_s = 0,82), so‘ngra yurak-qon tomir kasalliklari (0,78), endokrin patologiya (0,74), onkologik holatlar (0,72) va chaqaloq o‘limi (0,70) edi. Uchta ichki indeks o‘rtasidagi juftlikdagi korrelyatsiyalar o‘rtacha edi (HSI va SSI: 0,61; HSI va TSI: 0,42; SSI va TSI: 0,55), bu komponentlar ifloslanishning qisman mustaqil o‘lchovlarini qamrab olishini va ularning agregatsiyasi ortiqchalikdan ko‘ra ma'lumot qo‘shishini ko‘rsatadi. Sezgirlik tahlili shuni ko‘rsatdiki, KIIK bo‘yicha tumanlar tartibi og‘irlik sxemalariga nisbatan mustahkam: 64 ta turli og‘irlik kombinatsiyasida eng yuqori to‘rt tuman 62 ta holatda o‘zgarmadi.

MUHOKAMA. Bu yerda taklif qilingan KIIK — bizning ma'lumotlarimizga ko‘ra, O‘zbekistonning Orol bo‘yi mintaqasi uchun uchta atrof-muhit muhitini umumiy 0–1 shkalada birlashtiradigan va 2020-yildan keyingi dala o‘lchovlari bilan parametrlashtiriladigan birinchi tuman darajasidagi kompozit ifloslanish indeksidir. HSI, CCME SSI va Hokanson EX / Myuller Igeo ga tayanish orqali konstruksiya keng qabul qilingan, regulyator bilan mos keladigan ichki indekslarga asoslangan va shuning uchun mutaxassis bo‘lmaganlar uchun tushunarsiz bo‘lgan ad hoc kompozitlar tanqididan saqlanadi. Teng og‘irliklash mintaqaviy kalibrlangan DALY ma'lumotlari yo‘qligida ataylab tanlangan

ISSN 3030-3907

epistemologik tanlov edi; sezgirlik tahlili siyosatga oid savol (qaysi tumanlar eng og‘ir ta'sirlanmoqda?) aniq og‘irlik tanlashga juda bog‘liq emasligini tasdiqlaydi. Mo‘ynoqni yagona 'kritik' tuman sifatida va Qoraqalpog‘istonning shimoliy qatori (Qo‘ng‘irot, Chimboy, Xo‘jayli) ni 'yuqori xavfli' sifatida aniqlash oldingi alohida muhit baholarga mos, lekin undan ham aniqroq. Bennion va boshq. (2007) va Rzymski va boshq. (2024) Mo‘ynoqni Orol dengizi bilan bog‘liq respirator yukning markazi sifatida belgilashgan edi; Bartrem va boshq. (2025) o‘sha tuman uchun eng yuqori OXP va sho‘rlanish qiymatlarini xabar qildi. Bizning kompozit tahlilimiz tasdiqlaydiki, Mo‘ynoq KIIKida chang bilan boshqariladigan havo komponenti ustun, Qo‘ng‘irot va Chimboyda esa suv va tuproq nisbatan ko‘proq hissa qo‘shadi. Bu dekompozitsiya yumshatish ustuvorligi uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri ahamiyatga ega: Mo‘ynoq aralashuvlari chang manbasini nazorat qilishga (Aralqumni o‘rmonlashtirish, yuza barqarorlashtirish) qaratilishi kerak, Qo‘ng‘irot va Chimboy esa qo‘shimcha ravishda ichimlik suvi va drenaj suvi yaxshilanishlaridan foyda ko‘radi.Joinpoint tahlili 2017-yil atrofida mintaqaviy KIIK trayektoriyasida aniq inflyatsiya nuqtasini aniqladi. Bu adabiyotlardan uchta mustaqil kuzatuv bilan keng mos keladi: Indoitu va boshq. (2015) tomonidan hujjatlashtirilgan va Liu va boshq. (2025) tomonidan yangilangan chang hodisalari chastotasining oshishi; Sun va boshq. (2023) tomonidan xabar qilingan Amudaryo sho‘rlanishi tezlashishi; va Rajabova va boshq. (2025) tomonidan miqdoran baholangan kollektor suvlari CCME SSI yomonlashishi. Bu jarayonlarning kombinatsiyali ta'siri KIIK tomonidan alohida muhit tahlillari amalga oshira olmaydigan tarzda olib boriladi. 2030-yilga istiqbol — mintaqaviy o‘rtacha KIIK 0,51 — ehtiyotkorlik bilan talqin qilinishi kerak, chunki u so‘nggi tendensiyalarning davomini taxmin qiladi va O‘zbekiston Orol Bo‘yi Milliy Ishonch Fondi tomonidan e'lon qilingan o‘rmonlashtirish dasturi yoki Tuyamuyun suv omborini suv-tozalash infratuzilmasi modernizatsiyasining potensial ta'sirini hisobga olmaydi (UNECE, 2025).To‘rt asosiy cheklovni qayd etish kerak. Birinchidan, monitoring qamrovi tumanlar bo‘ylab notekis; xususan, Qoraqalpog‘istonda faqat ikkita O‘zgidromet stantsiyasi ishlamoqda va havo sifati maydonlari CAMS reanaliziga juda bog‘liq. Yusupov va boshq. (2024) ning yerdagi-CAMS taqqoslashi Nukus PM10 uchun taxminan 12 μg m^{-3} RMSE ni xabar qiladi, bu HSI noaniqligiga taxminan ±15 birlik ekvivalent. Ikkinchidan, OXP va og‘ir metall ma'lumotlari bitta keng qamrovli kampaniyaga (Bartrem va boshq., 2025) asoslangan; shuning uchun tuproq ifloslanishining vaqt o‘zgaruvchanligi xarakterlanmaydi. Uchinchidan, teng og‘irlikli sxema mintaqaviy kalibrlangan DALY og‘irliklari mavjud bo‘lganda — masalan, Global Burden of Disease subnational baholarlari orqali — qayta ko‘rib chiqilishi mumkin.

ISSN 3030-3907

To‘rtinchidan, KIIK hozircha biologik indikatorlarni (masalan, qonda yoki siydikda OXP miqdori) o‘z ichiga olmaydi, bu individual darajadagi salomatlik xavfi baholash uchun zarur.Bu yerda ishlab chiqilgan metodologiya birlashtirilgan ko‘p muhitli ifloslanish bilan duch keladigan boshqa arid degradatsiyalashgan havzalarga ko‘chirilishi mumkin — masalan, Eron Urmiya ko‘li havzasi, Xitoyning Lop Nur havzasi yoki AQShdagi Solton Sea havzasi. Siyosat nuqtai nazaridan, KIIK uchta aniq afzallikni taqdim etadi: u har bir tuman uchun byudjetlar ajratishni qo‘llab-quvvatlay oladigan yagona, tushunarli raqamni ishlab chiqaradi; u shu raqamni tashkil etuvchi muhitlarga ajratadi va maqsadli aralashuvlarni qo‘llab-quvvatlaydi; va u progressni kuzatish uchun oddiy vaqt kengaytmasini ta'minlaydi. Biz O‘zbekiston Ekologiya, atrof-muhit muhofazasi va iqlim o‘zgarishi vazirligiga KIIKni yillik ekologik faoliyat sharhi doirasida muntazam hisobot ko‘rsatkichi sifatida qabul qilish bo‘yicha tavsiya beramiz, mavjud bir muhitli indekslarni almashtirish o‘rniga, ularni to‘ldiruvchi sifatida.

XULOSALAR. Ushbu tadqiqot O‘zbekistonning Orol bo‘yi mintaqasi uchun tuman darajasidagi Kompleks ifloslanish indeksini (KIIK) ishlab chiqdi va validatsiya qildi. US EPA HSI, CCME SSI va Hokanson/Myuller tuproq indekslaridan foydalanib, 0–1 shkalada yagona normallashtirilgan ko‘rsatkich ishlab chiqdi. 2010–2025 yillar uchun monitoring ma'lumotlari bilan Qoraqalpog‘iston va Xorazmning 27 ta ma'muriy birligiga qo‘llanilganda, KIIK 0,31 dan 0,64 gacha o‘zgardi. Mo‘ynoq yagona 'kritik' tuman sifatida ajraldi (KIIK = 0,64), unda Aralqumdan kelayotgan havo ifloslanishi ustun. Mintaqaviy o‘rtacha KIIK 2010 va 2025-yillarda 15,8% ga oshdi, 2017-yildan keyingi tezlashtirilgan tendensiya 2030-yilga istiqbolni o‘zgarishsiz siyosat ostida 0,51 ga olib keldi. KIIK beshta asosiy kasallik toifasi bilan r_s 0,70–0,82 darajasida korrelyatsiya qildi va integratsiyalangan ekologik-tibbiy ko‘rsatkich sifatida konstruktiv yaroqliligini qo‘llab-quvvatladi. KIIK qulay, shaffof, oson takrorlanadi va doimiy ekologik hisobot uchun mos. Uning muntazam qabul qilinishi dunyodagi eng og‘ir ta'sirlangan arid havzalardan birida yumshatish investitsiyalarini ustuvorlashtirishni sezilarli darajada yaxshilashi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Banks J.R., Toon O.B., Giles D.M., Heavens N.G., Mathers J. Impacts of the desiccation of the Aral Sea on the Central Asian dust life-cycle // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2022. Vol. 127(15). e2022JD036618.
2. Bao A., Yu T., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Tojibaev K., Shomurodov X. Ecological problems and ecological restoration zoning of the Aral Sea // Acta Geographica Sinica. 2024. Vol. 79(5). P. 1234–1248.

ISSN 3030-3907

3. Bartrem C., Kurbanov M.I., Keller B.D., Fiori A., von Lindern I., Khajiev P.Z., Rustamov D., Lee J., Steiner M., Paluaniyazova G. Organochlorine pesticides and salinity in Karakalpakstan, Uzbekistan: a multimedia assessment // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2025. Vol. 22(11). Art. 1751.
4. Bazarbayev S., et al. Physical and chemical properties of dust in the Pre-Aral region of Uzbekistan // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. P. 75123–75139.
5. Bennion P., Hubbard R., O'Hara S., Wiggs G., Wegerdt J., Lewis S., Stocks J. The impact of airborne dust on respiratory health in children living in the Aral Sea region // International Journal of Epidemiology. 2007. Vol. 36(5). P. 1103–1110.
6. CCME (2017). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index User's Manual. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
7. Danielsson R., Surkan A.J. Integrated environmental indices: an approach to combining and displaying environmental data // Environmental Monitoring and Assessment. 1996. Vol. 40(2). P. 105–118.
8. Erkudov V.O., Rozumbetov K.U., Gonzalez-Fernandez F.T., Shashkova I.S., Ovsyannikova A.G. The effect of environmental disaster on body composition of children in Karakalpakstan // Environmental Research. 2024. Vol. 246. Art. 118015.
9. Ge Y., Wu N., Abuduwaili J., Kulmatov R., Issanova G., Saparov G. Identifying seasonal and diurnal variations and the most frequently impacted zones of dust over Central Asia using CALIPSO observations // Atmospheric Research. 2022. Vol. 275. Art. 106255.
10. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach // Water Research. 1980. Vol. 14(8). P. 975–1001.
11. Indoitu R., Kozhoridze G., Batyrbaeva M., Vitkovskaya I., Orlovsky N., Blumberg D., Orlovsky L. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea // Aeolian Research. 2015. Vol. 17. P. 101–115.
12. IQAir (2024). World Air Quality Report 2024. IQAir AG, Goldach, Switzerland.
13. Iskandarova Sh., et al. River water quality of the Amu Darya in the territory of Karakalpakstan // E3S Web of Conferences (ConMechHydro 2023).
14. Jin M., Wu J., Zhang H., et al. Study on the Aral Sea crisis from the risk assessment of PAHs and OCPs in surface water // Frontiers in Earth Science. 2023. Vol. 11. Art. 1295485.

ISSN 3030-3907

15. Kawabata Y., et al. Uranium pollution of ground water in Karakalpakstan // The New Uranium Mining Boom. Springer Geology. 2011. P. 161–166.
17. Liu J., Ding J., Liu B., et al. Characteristics of salt dust aerosols and their transport implications in the Aral Sea region // Atmospheric Chemistry and Physics. 2025. Vol. 25(5). P. 2891–2912.
18. Liu W., Ma L., Abuduwaili J. Historical change and ecological risk of potentially toxic elements in the lake sediments from North Aral Sea // Applied Sciences. — 2020. Vol. 10(15). Art. 5267.
19. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // GeoJournal. 1969. Vol. 2(3). P. 108–118.
20. NCI (2022). Joinpoint Regression Program, version 4.9.0.0. National Cancer Institute, Statistical Methodology and Applications Branch.
21. Rajabova N., Sherimbetov V., Sadiq R., Aboukila A.F. An assessment of collector-drainage water and groundwater quality using the CCME WQI model // Water. 2025. Vol. 17(15). Art. 2191.
22. Rzymski P., Marszelewski W., Rybak M., Klimaszyk P. Health impacts of the Aral Sea disaster: current state, research gaps, and policy recommendations // Environmental Health Perspectives. 2024. Vol. 132(7). Art. 075001.

ISSN 3030-3907