SUN’IY YO‘LDOSH TASVIRLARI VA SUN’IY INTELLEKT YORDAMIDA OROL DENGIZI HUDUDLARINI TADQIQ ETISH: TAJRIBALAR VA ILMIY MUAMMOLAR

Rashid Nasimov[1], Nigoraxon Nasimova[2], Charos Xidirova[2], Akmalbek Abdusalomov[2], Zavqiddin Temirov[3]

[1]Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, Sun’iy intellekt kafedrasi
[2]Muxammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Kompyuter tizimlari kafedrasi
[3]Alfraganus universiteti, Raqamli texnologiyalar kafedrasi
E-mail: rashid.nasimov@tsue.uz

KEYWORDS

Orol dengizi, sun’iy yo‘ldosh tasvirlari, sun’iy intellekt algoritmlari, ma’lumotlar to‘plami, dastlabki ishlov berish, geoma’lumotlar

ABSTRACT

Orol dengizi ekologik inqirozining oqibatlarini o‘rganish, uning geografik va ekologik holatini monitoring qilish dolzarb bo‘lgan ilmiy-texnik muammolardan hisoblanadi. Ushbu maqolada Orol dengizi hududlarida hozirgi kunga qadar olib borilgan ilmiy izlanishlar, mavjud muammolar va sun’iy yo‘ldosh tasvirlari hamda sun’iy intellekt (SI) texnologiyalari yordamida tadqiq qilish tahlil qilingan. Xususan, mashinali o‘qitish (MO‘) va chuqur o‘qitish (ChO‘) algoritmlarining tuproq sho‘rlanishi, o‘simlik qoplamining o‘zgarishi hamda suv sathining pasayishini aniqlashdagi roli ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, mavjud geoma’lumotlar bazalari, ulardan foydalanish, sun’iy intellekt modellari uchun zarur bo‘lgan ma’lumotlar to‘plamlariga dastkabki ishlov berish usullari tahlil etilgan. Maqola yakunida Orolbo‘yi mintaqasida SI asosida samarali monitoring tizimini yo‘lga qo‘yish uchun taklif va tavsiyalar berilgan.

Kirish

Yarim asr ilgari qurishni boshlagan Janubiy Orol dengizining qurigan tubi Sibir tekisligi va Eron platosiga o‘tishi mumkin bo‘lgan sho‘r-chang bo‘ronlari manbaiga aylandi. Insonlar salomatligi va shu hududlar ekotizimiga jiddiy salbiy ta’sir o‘tkazadigan bu tuzli-chang manbaini kamaytirish uchun Orol dengizining qurigan hududlarida keng ko‘lamli o‘rmonzorlar barpo etish zarur edi. Shu maqsadda bugungi kunda Respublika va jahon miqyosida tashabbuslar, qator ekologik va ilmiy-amaliy loyihalar amalga oshirilmoqda. Jumladan, “Yashil Orol dengizi tashabbusi” (UNDP) bilan birgalikda Orolbo‘yi hududini ekologik innovatsiyalar va texnologiyalar bilan o‘zgartirish konsepsiyasi doirasida bugungi kunda atrof-muhitni barqarorlashtirish va zararlangan tuproqda tabiiy muvozanatni tiklash maqsadida himoya o‘rmonlarini barpo etish bo‘yicha tizimli ishlar olib borilmoqda. Natijada 1 million gektardan ortiq maydon ekishga tayyorlandi, 461 ming gektar maydonda o‘rmon barpo etildi, shu jumladan, 93 kilometr himoya to‘siqlari o‘rnatildi, 2019-yilda 420 gektar maydonda saksovul pitomniklari tashkil etildi [1]. Shu bilan birga, o‘rmonzorlashtirish ishlari, tuproq sho‘rlanishi va eroziyasiga qarshi kurash, landshaft monitoringi, bioxilma-xillikni tiklash kabi yo‘nalishlarda ilmiy tadqiqotlar olib borishga keng imkoniyatlar ochib berilmoqda [2-14]. Amalga oshirilayotgan ishlar bilan bir qatorda, tadqiqotlarning natijasida olingan xulosalardan ma’lum bo‘lmoqdaki, samarali rejalashtirish va barqaror boshqaruvni ta’minlash uchun ushbu hududlarda har tomonlama va uzluksiz monitoring olib borish zarur. Bu tadbirlar nafaqat ekologik

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

tiklanish, balki yerning degradatsiyasi va cho‘llanish bilan bog‘liq salbiy ijtimoiy-ekologik ta’sirlarni yumshatish uchun ham hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ta’kidlash joizki, Orol dengizining O‘zbekiston hududidagi qurib qolgan qismi qariyb 2,5 million gektarni tashkil etadi. Ushbu hududning keng va ekologik jihatdan sezgir landshaftini muntazam monitoring qilish inson resurslari, texnologik infratuzilma va uzoq muddatli investitsiyalarni talab qiladi hamda ushbu faoliyat natijasida logistik va moliyaviy muammolarni oldini olish imkoniyatini ta’minlanishi mumkin.

Shu sababli yuqorida ta’kidlab o‘tilgan muammolarga yechim topishda, xususan, tuproq sho‘rlanishi, o‘simlik qoplamining o‘zgarishi va suv sathining pasayishini sun’iy yo‘ldosh tasvirlari yordamida aniqlash hamda sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalangan holda intellektual tahlil qilish orqali qaror qabul qilishga ko‘maklashuvchi tizim ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

O‘tgan asrning 70 yillaridan buyon Orol dengizi muammolarini o‘rganishda sun’iy yo‘ldoshli tasvirlaridan keng foydalanib kelinmoqda. Ilk bora Qozoq aerogeodeziya fakulteti tomonidan sun’iy yo‘ldosh tasvirlaridan foydalanib, dengiz maydonining 1977 yildan 1989 yilgacha kichrayib borish xaritasi tuzilgan hamda 2000-yildagi holati bashorat qilingan [2]. Shundan keyin bir qator muhim bo‘lgan ilmiy tadqiqotlarda Rossiyaning Xalqaro kosmik stansiyasidan olingan tasvirlar asosida qurib borayotgan dengizning ostini tadqiq etishda foydalanildi [2]. 2000 yildan boshlab esa MODIS, Landsat, Sentinel kabi turli sun’iy yo‘ldosh tasvirlari keng ommaga ochiq taqdim etila boshlangach, Orol dengizi muammolarini o‘rganishga bog‘ishlangan tadqiqotlar ko‘lami yanada kengaydi. Jumladan, MODIS tasvirlari asosida yer qoplamasidagi o‘zgarishlar, xususan, hududda chang va tuz bo‘ronlarining paydo bo‘lishiga muhim hissa qo‘shadigan qumli yuzalar va sho‘r tuproqlarning ko‘payishi miqdoriy aniqlangan [3]. Landsat sun’iy yo‘ldoshi ma’lumotlariga asosida Orol dengizidagi mavsumiy suv zonalarining o‘zgarishini o‘rganishda hamda bu o‘zgarishlarga iqlim va inson omillarining ta’sirini baholashda foydalanilgan [4]. Landsat-8 sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari asosida esa Janubiy Orolbo‘yida suv havzalari va o‘simlik qoplamining o‘zgarishlari baholangan [5]. 2017 yildan 2022 yilgacha Orol dengizi havzasiga quyiladigan daryo suvlarining oylik ma’lumotlarini olish uchun Sentinel-2 tomonidan taqdim etilgan tasvirlardan foydalanilgan [6].

Shuningdek, yana bir tadqiqot ishlari yo‘nalishida baholash aniqligini oshirish maqsadida turli sun’iy yo‘ldosh tasvirlaridan bir vaqtda foydalanilgan [7]. Ba’zi tadqiqotlarda esa sun’iy yo‘ldosh tasvirlari bilan birga Envisat, CryoSat-2, TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, SARAL kabi sun’iy yo‘ldosh radar altimetr ma’lumotlaridan ham foydalanilgan [8-10.]. Ushbu ma’lumotlarga qo‘shimcha ravishda Gravitatsiyani tiklash va iqlim - eksperimenti ma’lumotlaridan, “JRC Global surface water” ma’lumotlar to‘plami, sun’iy yo‘ldoshlardan olingan tog‘onlar ma’lumotlar bazalari va global HydroLAKES ma’lumotlar bazasidan, Amudaryoning oylik oqimi va kovlning tarixiy yillik gidrologik ma’lumotlaridan, oylik yog‘ingarchilik haqidagi Global yog‘ingarchilik klimatologiya markazi va Global yog‘ingarchilik klimatologiyasi loyihasidan olingan ma’lumotlardan, ob-havo va ijtimoiy ma’lumotlar o‘rtacha yog‘ingarchilik, o‘rtacha haroratni, o‘rtacha bug‘lanish va qishgi mavsumda sug‘orish uchun suvga bo‘lgan talab va haqiqiy metereologik o‘lchovlar natijalari, tuproq sho‘rlanganligi haqidagi real ma’lumotlardan foydalanilgan [7, 8, 10, 11, 12, 13, 37].

Sun’iy yo‘ldosh ma’lumotlari ko‘p spektrli va katta hajmli tasvirlardan iborat bo‘lib, ular bilan birgalikda boshqa ma’lumotlardan ham foydalanish va ularni tahlil qilish, o‘rganish juda murakkab vazifa hisoblanadi. Bu jarayonda sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalanish o‘simlik qoplamasining o‘zgarishi, cho‘llanish jarayonlari va suv havzalari dinamikasini misli ko‘rilmagan aniqlik va samaradorlik bilan aniqlash va baholash, tasvirlardagi muhim belgilarni ajratib olish, segmentatsiya qilish, yer yuzasi qoplamasini xaritalash, hamda ekologik monitoring bo‘yicha qarorlar qabul qilish imkonini beradi [11]. Xususan, sun’iy intellektning tarkibiy qismi bo‘lgan chuqur

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

o‘qitish algoritmlari tasvirlarni avtomatik tahlil qilish sohasida katta siljishlarni yuzaga keltirib, hozirda dengiz muzlarini ajratib olish, suv sifati monitoringi, hamda o‘rmonlardagi o‘zgarishlarni aniqlash kabi masofaviy zondlash ma’lumotlaridan foydalaniladigan muhim tadqiqot yo‘nalishlarida faol qo‘llanilmoqda. Ayniqsa, chuqur o‘qitishga asoslangan algoritmlar masofaviy zondlash orqali ekologik ifloslanish darajasini bashoratlash imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirib, ilgari mavjud bo‘lmagan murakkab tahlillarni amalga oshirish imkonini berdi.

Bunday texnologik imkoniyatlar ayniqsa Orolbo‘yi mintaqasi uchun nihoyatda muhimdir, chunki bu yerda yuz berayotgan ekologik o‘zgarishlar masshtabi ilmiy asoslangan bo‘lib, uzluksiz monitoring va baholashni talab etadi. Bunday yondashuvlar tiklash ishlarini rejalashtirish va ularning samaradorligini vaqt o‘tishi bilan kuzatishda ishonchli vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Shu nuqtai nazardan Orol dengizining qurigan hududlarini ekotizimini qayta tiklash va yaxshilash ishlarida monitoring va qaror qabul qilishda sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. So‘nggi o‘n yil davomida ushbu yo‘nalishda muhim ilmiy tadqiqotlar olib borilgan bo‘lib, mazkur izlanishlar mavzuga doir muhim ilmiy natijalarni taqdim etgan. Biroq, mavjud ilmiy adabiyotlar o‘rganilganda, ushbu sohada amalga oshirilgan ishlarni tizimli tahlil qiluvchi, turli tadqiqotlarning o‘zaro bog‘liqligi va tafovutlarini aniqlovchi, shuningdek, hozirgacha erishilgan yutuqlar va mavjud kamchiliklarni umumlashtiruvchi tahliliy maqola hanuzgacha yozilmagani ayon bo‘ladi. Faqat sun’iy yo‘ldosh tasvirlaridan foydalanib Orol dengizi hududlarini tadqiq etish bo‘yicha amalga oshirilgan tadqiqotlarni qamrab oluvchi tahliliy maqolalarda sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalanish masalalari ko‘rib chiqilmagan [14]. Bunday tahliliy maqola yozilishi nafaqat mavjud ilmiy holatni baholash, balki mazkur yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlarning umumiy tendensiyasini aniqlash, ularning metodologik asoslarini solishtirish va tahlil qilish imkonini yaratadi.

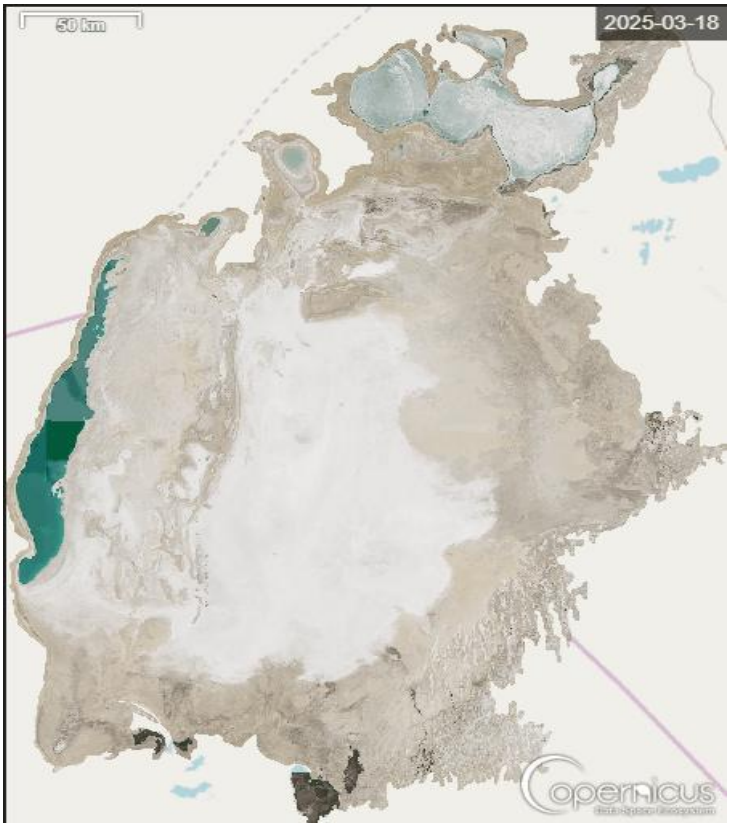
Shuningdek, bunday yondashuv orqali hozirgacha yetarlicha yoritilmagan yoki yechimini topmagan ilmiy muammolarni aniqlash, kelgusidagi izlanishlar uchun istiqbolli yo‘nalishlarni belgilab olish imkoni bo‘ladi. Shu bois, ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlarni chuqur tahlil qiluvchi, ularning ilmiy qiymatini, metodologik yondashuvlarini va natijaviy samaradorligini kompleks baholovchi tahliliy maqola tayyorlash dolzarb va zarur ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi.

Tadqiqotning obyekti

Ushbu maqolada tadqiqotning asosiy obyekti - Orol dengizi va uning O‘zbekiston hududidagi qurigan qismi hisoblanadi. Orol dengizi Markaziy Osiyoning Amudaryo va Sirdaryo kabi yirik daryolari bilan to‘yinadigan, tarixan dunyodagi to‘rtinchi yirik ichki ko‘ldir. Biroq 1960-yillardan boshlab ushbu daryolarning suvi qishloq xo‘jaligi sug‘orish tizimlariga keng ko‘lamda yo‘naltirilishi natijasida dengiz hajmi keskin kamaydi va hudud jadal quriy boshladi. Hozirgi kunda Orol dengizining katta qismi qurib, uning o‘rnida yangi cho‘l - Aralqum vujudga kelgan. Ushbu hudud asosan O‘zbekistonning shimoli-g‘arbiy qismida, xususan, Qoraqalpog‘iston Respublikasi va qisman Xorazm viloyati hududlariga to‘g‘ri keladi. Tadqiqot hududi geografik jihatdan 43°24′–47°56′N shimoliy kengliklar va 58°12′–62°59′E sharqiy uzunliklar oralig‘ida joylashgan. Orolbo‘yi hududi odatdagi mo‘tadil kontinental iqlim zonasida joylashgan bo‘lib, yillik o‘rtacha yog‘in miqdori 60 - 140 mm ni, yillik potensial bug‘lanish esa 800 - 1300 mm ni tashkil etadi. Bu esa hududning ekologik degradatsiyaga moyilligini oshirishi mumkin.

©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

ISSN: 3030-3346



1-rasm. Orol dengizining tasviri (18.03.2025, Sentinel-1 Copernicus Browser bazasi).

Qurib borayotgan dengiz tubining umumiy maydoni 68 ming kvadrat kilometrdan ortiq bo‘lib, bu yerda yangi geomorfologik shakllar, changli va sho‘r qumli hududlar, barxanlar va sho‘rxoklar shakllanmoqda. Hududning tabiiy sharoiti keskin kontinental iqlim bilan tavsiflanadi. Yoz oylarida harorat +46°C gacha ko‘tarilishi mumkin, qish oylarida esa −28°C gacha tushadi. Yillik yog‘ingarchilik miqdori kam, o‘rtacha 100 mm atrofida bo‘lib, bu miqdor hududda kuchli cho‘llanish jarayonlarini yuzaga keltirishiga sabab bo‘lmoqda. Shamol faoliyati natijasida tuproqdagi sho‘r va chang zarrachalari katta masofalarga tarqalib, nafaqat atrof-muhitga, balki inson salomatligiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda.

Ushbu hudud o‘zining geologik, ekologik va ijtimoiy jihatdan murakkab vaziyati tufayli ko‘plab fanlar uchun qiziqish uyg‘otmoqda va xalqaro miqyosda dolzarb tadqiqot obyekti sifatida qaralmoqda.

Ma’lumotlar bazalari

Sun’iy yo‘ldoshli tasvir (SYT)larga ishlov berishda SI algoritmlarini samarali qo‘llash va kutiladigan natijalarga erishish uchun yuqori sifatli va yaxshi tuzilgan ma’lumotlar to‘plami (dataset) muhim omil hisoblanadi.

Sun’iy intellekt algoritmlarining aniqligi va ishonchliligi ko‘p jihatdan foydalanilayotgan ma’lumotlar to‘plamining sifati, hajmi va o‘z ichiga olgan spektral, fazoviy hamda vaqtinchalik tafsilotlarga bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli Orolbo‘yi mintaqasidagi tadqiqotlarda foydalaniladigan SYTlarining manbai, chastota diapazonlari, vaqt oralig‘i hamda ularning integratsiyasi algoritmlarning umumiy samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi.

Orol dengizi hududini o‘rganishda asosan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Landsat (5, 7, 8) va Sentinel-2 kabi sun’iy yo‘ldoshlardan olingan tasvirlar keng

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

qo‘llanilgan hamda aksariyat ilmiy ishlarda aynan ushbu SYTlariga tayanilganini ko‘rish mumkin. Biroq turli tadqiqotlar o‘ziga xos yondashuvlardan foydalangan bo‘lib, eng ko‘p foydalanilayotgan SYTlar turli yillarda va vaqt oraliqlarida olingan. Masalan, 1977, 1987, 1996, 2006 va 2015 yillarga tegishli aksariyat tadqiqotlarda yil davomida tanlab olingan uch kunlik Landsat-8 tasvirlari tahlil qilingan [16, 17]. 2020 yillarda bajarilgan tadqiqotlar uchun, mart oyidan noyabr oyigacha bo‘lgan davrdagi har 16 kunlik interval bilan olingan Landsat-8 tasvirlari hamda 2018 yil 14 iyun va 17 avgust oralig‘ida olingan Landsat-8 tasvirlaridan foydalanilgan [18, 21]. Shunga o‘xshash boshqa tadqiqotlarda, misol uchun, 1984 yildan 2016 yilgacha bo‘lgan 32 yillik SYTlari ishlatilgan bo‘lsa, faqatgina 2020 yil uchun olingan Sentinel-2 tasvirlaridan foydalanilgan [18, 22]. Bu shuni ko‘rsatadiki, tadqiqot olib boriladigan vaqt oralig‘i va o‘sha vaqt oralig‘idagi ma’lumotlar to‘plami tadqiqot maqsadi va yondashuvi bilan bog‘liq bo‘lgan.

SYTlardan foydalanishda tasvirlarni tashkil etuvchi spektral diapazonlar ham muhim rol o‘ynaydiki, olib borilgan bir qator muhim tadqiqotlarda turli chastota polosalaridan foydalanilganini kuzatish mumkin. Masalan, ba’zi tadqiqotlar yashil, qizil, yaqin infraqizil (YIQ) va o‘rta infraqizil (O‘IQ) chastota polosalari (jami 4 ta) ishlatilgan bo‘lsa, boshqa bir guruh olimlar tomonidan olib ilmiy tadqiqotlarda 450 nm dan 2300 nm gacha bo‘lgan keng diapazonni qamrab olgan jami 11 ta chastota polosasidan foydalanilgan [17, 18]. Bu diapazonlar quyidagilarni o‘z ichiga olgan: beshta ko‘rinadigan va yaqin infraqizil (YIQ), uchta qisqa to‘lqinli infraqizil (QTIQ) va ikkita termal infraqizil (TIQ) diapazonlari. Yana bir tadqiqotda faqatgina ko‘k, yashil, qizil va YIQ diapazonlarida olingan SYTlari ishlatilgan [21]. Spektral diapazonlar tanlovi o‘rganilayotgan jarayonning fizik va kimyoviy xususiyatlariga mos ravishda amalga oshiriladi, misol uchun, o‘simlik qoplami, tuproq namligi, sho‘rlanishi yoki suv yuzalarining mavjudligini aniqlashda aynan YIQ, QTIQ va TIQ diapazonlarining sezuvchanligi yuqori bo‘ladi.

Ilmiy tadqiqot ishlarida SYTlarining qaysi manbadan olingani ham muhim omillardan biri hisoblanadi. Ba’zi tadqiqot ishlari faqat bitta manbadan olingan tasvirlarga asoslanilsa, boshqalarida bir nechta sun’iy yo‘ldoshlardan olingan ma’lumotlar o‘zaro integratsiya qilinadi. F. Löw, D. Dimov va Kenjabaevlar tomonidan olib borilgan tadqiqotda Landsat-5 va Landsat-8 tasvirlari to‘plami bilan bir qatorda 2015 yil uchun olingan Google Earth tasvirlari to‘plamidan va tarixiy xaritalardan foydalanilgan bo‘lsa, N. Shanmugapriya tomonidan olib borilgan ishda Landsat-8 va Sentinel-2 SYTlari to‘plami bilan birgalikda, yer sathidan yig‘ilgan dala ma’lumotlaridan ham foydalanilgan [17, 18]. Boshqa tadqiqotlarda Landsat-8 va MODIS tasvirlari to‘plamlarining kombinatsiyasidan hamda faqat bitta sun’iy yo‘ldosh orqali olingan ma’lumotlar to‘plamidan foydalanilgan [20, 21, 22].

Yuqorida olib borilgan tadqiqotlarning va tadqiqotlarda foydalanilgan yondashuvlarning o‘ziga xos afzallik va cheklovlari mavjud. Ko‘p manbali ma’lumotlardan foydalanish turli spektral, fazoviy va vaqtinchalik tafsilotlarni integratsiyalash imkonini beradi va umumiy tahlil aniqligi ko‘rsatgichini oshiradi. Shu bilan birga, ma’lumotlarni moslashtirish va standartlashtirish jarayonlarini talab qiladi.

Sun’iy intellekt algoritmlari yordamida Orol dengizining qurigan hududlarini o‘rganishda ishlab chiqiladigan ma’lumotlar to‘plami tarkibi, sifati va strukturasini to‘g‘ri tanlash ilmiy natijalarning aniqligi va ishonchliligini ta’minlovchi asosiy omillardan biri bo‘lib xizmat qiladi. SYTlarning manbai, vaqtinchalik qamrovi, spektral diapazonlari va ularning o‘zaro integratsiyasi tadqiqotning muvaffaqiyatiga bevosita ta’sir qiladi, 1-jadval. Shuning uchun, bunday tadqiqotlarda foydalaniladigan ma’lumotlar to‘plamini to‘g‘ri shakllantirish va tanlash zarur.

(cc) BY

1-jadval.

Foydalanilgan ma’lumotlar to‘plami tahlili

Tadqiqot	Sun’iy yo‘ldosh platformalari	Vaqt oralig‘i	Tasvir sanalari / interval	Spektral diapazonlar	Qo‘shimcha ma’lumotlar
[15], [17]	Landsat-8	1977, 1987, 1996, 2006, 2015	Har bir yil uchun 3 kunlik tasvirlar	Yashil, qizil, YIQ, O‘IQ	Tarixiy tahlil, ko‘p yillik qamrov
[18]	Landsat-8, Sentinel-2	2020 yil mart–noyabr	Har 16 kunda	Ko’k, yashil, qizil, chegaraviy qizil - 1,-2, YIQ, QTIQ - 1,-2,-3,-4, TIQ	Dala ma’lumotlari bilan integratsiya
[21]	Landsat-8, MODIS	2018 yil	14 iyun, 17 avgust	Ko‘k, yashil, qizil, YIQ	Ikki manba kombinatsiyasi
[22]	Sentinel-2	1984–2016	32 yillik tasvirlar	Maqolada ko‘rsatilmagan	Uzoq muddatli monitoring
[20], [22]	Landsat yoki Sentinel (1ta)	Maqolada ko‘rsatilmagan	Maqolada ko‘rsatilmagan	Maqolada ko‘rsatilmagan	Faqat bitta platforma
[17]	Landsat-5, Landsat-8	2015 yil	Maqolada ko‘rsatilmagan	Yashil, qizil, YIQ, O‘IQ	Google Earth + tarixiy xaritalar bilan integratsiya

SYTlardan sun’iy intellekt algoritmlarini samarali o‘qitishda foydalanish uchun ularni dastlabki ishlovdan o‘tkazish muhim bosqich hisoblanadi. Chunki ma’lumotlar bazasining sifati, aniqligi va amaliy ahamiyati aynan ushbu jarayonlarda bajariladigan ishlov berish darajasiga bevosita bog‘liqdir. Dastlabki ishlov berish jarayoni odatda bir nechta asosiy bosqichlarni o‘z ichiga oladi: radiometrik tuzatish (sensor xatoliklari va atmosfera ta’sirlarini kamaytirish), geometrik tuzatish (tasvirni xarita koordinatalari bilan moslashtirish), tasvirni yaxshilash (vizual ko‘rinishni optimallashtirish) hamda bulutlar, soya va shovqinlarni bartaraf etish. Mazkur amallar natijasida tasvirlar yanada ishonchli va tahlil uchun qulay ko‘rinishga keltiriladi.

Ma’lumotlarga dastlabki ishlov berish

Sun’iy yo‘ldosh tasvirlariga dastlabki ishlov berishning umumiy bosqichlari 2-rasmda keltirilgan bo‘lib, ushbu yondashuv ko‘plab tadqiqotlarda qo‘llaniladi. Hozirgi vaqtda GEE (google earth engine), Sentinel Hub, ArcGIS, TerrSet, QGIS, Picterra, AI Superior, openEO va Microsoft Planetary Computer kabi ko‘plab platformalar taklif etilgan bo‘lib, ular orqali tadqiqotchilar turli sun’iy yo‘ldosh provayderlari (Sentinel, Landsat, Maxar, Planet, Airbus va boshqalar) tasvirlaridan foydalanish xuquqiga ega bo‘lishi, ularni ko‘rish, yuklab olish, tahrirlash va tahlil qilish imkoniyatiga ega bo‘ladilar. Ko‘plab ilmiy ishlarda aynan ushbu platformalar tomonidan taqdim etilgan manbalardan dastlabki ishlov berishda foydalanilgan. Masalan, Sentinel-2 tasvirlari to‘plamiga dastlabki ishlov berish Sentinel Hub yordamida amalga oshirilgan [18]. Bunda jarayon quyidagi bosqichlarin o‘z ichiga olgan (2-rasm):

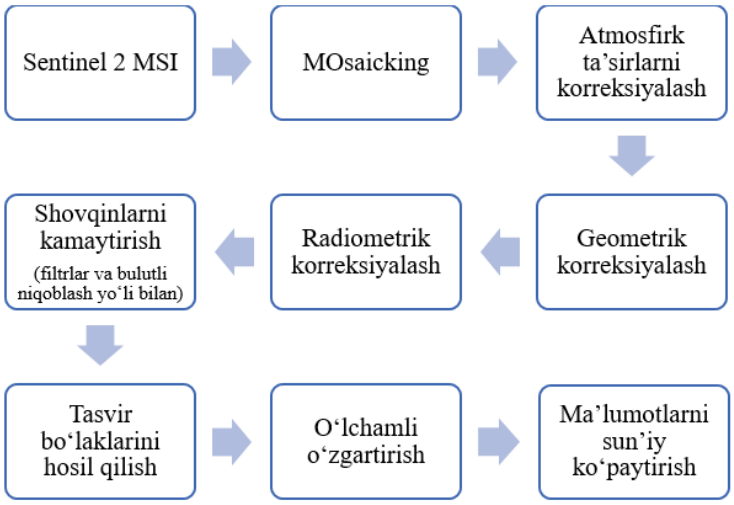
- **Termal shovqinlarni yo‘qotish**. Har bir optik tasvirdagi bulut yoki bulut soyasi bilan qoplangan maydonlarni aniqlash uchun Landsat-8 tasvirlari uchun CFMask algoritmi, Sentinel-2 tasvirlari uchun esa ‘QA60’ bayrog‘i (flag) qo‘llanilgan. Bulut yoki ma’lumot mavjud bo‘lmagan piksel (no-data piksel) ulushi 90% dan yuqori bo‘lgan, shuningdek, metama’lumotlarga ko‘ra ortorektifikatsiya qilinmagan tasvirlar tahlildan chiqarib tashlangan. Shundan so‘ng, bulutlar, soyalar, qor va tuman niqoblangan (mask

(cc) BY

qilingan) bo‘lib, bu esa har bir piksel bo‘yicha mavjud bo‘lgan haqiqiy kuzatuvlar sonining o‘zgaruvchanligiga olib kelgan.

• **Radiometrik kalibrlash.** Atmosfera ta’siridan tuzatilgan multispektral ma’lumotlar saqlab qolinib, Landsat-8 uchun 7 ta, Sentinel-2 uchun esa 10 ta spektral kanal tanlab olingan. Ushbu tasvirlarning fazoviy aniqligi 10–30 metr oralig‘ida bo‘lib, barcha ma’lumotlar eng yaqin qo‘shni interpolatsiya usuli yordamida yagona 10 metrlik pikselli o‘lchamga moslashtirilgan (resampling qilingan).

• **Geometrik tuzatish.** Bulutlarni niqoblash (cloud masking) natijasida hosil bo‘lgan bo‘shliqlarni to‘ldirish maqsadida, har bir piksel uchun uchta davr bo‘yicha maksimal qiymat kompozit tasvirlari hosil qilingan: (i) mart–may, (ii) iyun–avgust, va (iii) sentabr–noyabr. Bunda turli spektr chastota diapazonlari hamda NDVI, NDWI, SI va TCT kabi indekslardan foydalanilgan.



2-rasm. SYTlar to‘plamiga dastlabki ishlov berish bosqichlari

Sentinel-2 tasvirlari to‘plamiga dastlabki ishlov berish tadqiqotida ma’lumotlar massiv (array) ko‘rinishiga qayta o‘tkazilib, dastlabki ishlov berish bosqichida Savitzky–Golay (S-G) filtrlash usuli shovqinni kamaytirish texnikasi sifatida tanlangan. Ushbu raqamli silliqlovchi polinomial filtr MODIS NDVI hamda boshqa masofalidan zondlash ma’lumotlariga ishlov berishda samarali qo‘llanilgan usul sifatida qayd etilgan bo‘lib, uzluksiz ma’lumotlar yoki signallardagi o‘zgarishlarni aniqlashga xizmat qiladi. Filtr signalni shovqindan tozalash funksiyasini bajaradi va signal tarkibidagi keskin, tasodifiy o‘zgarishlardan tozalaydi, buning natijasida ma’lumotlardagi asosiy o‘zgarishlar silliqlanadi.

Ba’zi tadqiqotlarda tayyor datasetdan foydalanilganligi sababli, maxsus dastlabki ishlov berish talab qilinmagan. Muhim bo‘lgan ayrim tadqiqotlarda “Sentinel-2 Satellite Images of Water Bodies” bazasidan olingan tayyor datasetdan va Million-AID datasetlarida foydalanilgan bo‘lsa, ba’zilarida faqatgina sun’iy intellekt tarmog‘ida o‘qitish uchun CVAT.org va Microsoft VoTT (Visual Object Tagging Tool) vositalaridan foydalanib tasvir rezolyutsiyasi o‘zgartirilgan va annotatsiyalash jarayonlari amalga oshirilgan [18, 19, 22]. Yana boshqa ba’zi tadqiqotlarda faqatgina oddiy tasvirda ishlov berish amaliyotlari – masalan, shovqinni kamaytirish, rang kontrastini yaxshilash va tasvir hajmini sozlash kabilari amalga oshirilgan [20]. Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlar ishlarida tasvirga dastlabki ishlov berish haqida ma’lumotlar keltirilmagan yoki noaniq ko‘rsatilgan, bu esa natijalarning takrorlanishini murakkablashtiradi.

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

Sun’iy yo‘ldosh tasvirlarini tahlil etishda ishlatiladigan Sun’iy intellekt algoritmlari

Adabiyotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, SI algoritmlari masofadan zondlash tadqiqotlarida asosan uchta asosiy yo‘nalishda qo‘llanilgan: tasvirlarni segmentatsiya qilish, yer qoplamini tasniflash, va o‘zgarishlarni bashorat qilish. Bu texnologiyalar, ayniqsa, Orolbo‘yi kabi qurg‘oqchil va ekologik jihatdan nozik hududlarda yer yuzasidagi dinamikalarni aniqlash va modellashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Quyida ushbu yo‘nalishlar batafsil ko‘rib chiqiladi.

5.1. Segmentatsiya qilish

Shu kunga qadar ko‘plab amalga oshirilgan tadqiqotlarda Orol dengizi hududlarining o‘zgarishlarini sun’iy yo‘ldosh tasvirlari asosida tahlil qilishda murakkab matematik aparatlardan foydalanilgan. Biroq, sun’iy yo‘ldosh tasvirlari katta hajmli va ko‘p sonli davomli tasvirlar bo‘lganligi sababli, bunday kuzatuv usuli samarasiz va ko‘p resurs talab etadi. Bu muammoni hal qilish uchun SI algoritmlaridan foydalanish eng yaxshi samara berishi mumkin. Qurib borayotgan dengiz hududini tahlil qilish va yillik o‘zgarishlarni avtomatik baholash vazifasini bajarish uchun odatda eng avvalo suv havzalari tasvirini segmentatsiya qilish talab etiladi. Tasvirni segmentatsiya qilish - bu raqamli tasvirni segmentlar yoki hududlar deb ataladigan bir nechta piksellar guruhlariga ajratish va shu orqali obyektlarni yoki kerakli hududlarni aniqlash va ajratish uchun qo‘llaniladigan kompyuterli ko‘rish (computer vision) usulidir. Segmentatsiya jarayonida muhim obyektlar yoki hududlar, masalan, suv havzalari aniq ajratib olinadi va ularning shakli va maydonidagi o‘zgarishlarni vaqt o‘tishi bilan avtomatik tarzda kuzatish mumkin bo‘ladi. Shu sababli, sun’iy yo‘ldosh tasvirlarini to‘g‘ri segmentatsiya qilish Orol dengizining maydonidagi o‘zgarishlarni aniqlash, ekologik monitoring va qarorlar qabul qilish jarayonida muhim ahamiyatga egadir.

Ta’kidlash lozimki, tahlil qilingan ilmiy ishlardan faqat bittasida yer yuzasini segmentatsiya qilish uchun SI algoritmlaridan foydalanilgan. Bu yo‘nalishda kam tadqiqot olib borilganligining asosiy sababi - qurigan dengiz hududlarini segmentatsiya qilishga mo‘ljallangan tayyor datasetlarning etishmasligidir. Ammo, Mask R-CNN modeli, Feature Pyramid Network (FPN) tuzilmasi hamda ResNet asosidagi neyron tarmoqlari bilan birgalikda qo‘llanilgan tadqiqotda qurigan dengiz hududlarini segmentatsiya qilingan.

1.2. Tasniflash

Qurib borayotgan dengiz tubining asosiy qismi sho‘rxok va tuzli hudularga aylanib borishi chang bo‘ronlariga sabab bo‘lmoqda. Bunday tuzli chang bo‘ronlari darajasini kamaytirish maqsadida aynan shu hududlar uchun o‘sishga moslashgan cho‘l o‘simliklarini ekish amaliyoti joriy etilgan. Ana shu jarayonda qurg‘oqchilikka va tuzli tuproqqa chidamli o‘simliklarni tanlash, ularning ekotizimi zaif, tuproqlari esa sho‘rlangan ushbu mintaqada o‘sish va ko‘payish tendensiyasini baholash uchun, qurigan dengiz hududiga ekilgan va tabiiy ravishda ko‘paygan o‘simliklarni doimiy monitoring qilish zarur. Buning uchun esa ushbu o‘simliklar o‘sayotgan va qurib qolgan, yoki umuman o‘sib chiqmagan hududlarni tasniflash lozim. Bu vazifani bajarishda SI algoritmlari yaxshi samara berishi olib borilayotgan tadqiqotlarda o‘z isbotini topib bormoqda. Yer qoplamalarini, ekin maydonlarini va xususan cho‘l va qurigan dengizlar hududlarini SI algoritmlari yordamida tasniflash bo‘yicha juda ko‘p tadqiqotlar qilingan va ushbu tadqiqotlar doirasida bir qancha datasetlar ham taklif etilgan [14]. Orol dengizining qurigan hududlarini tasniflash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarning ba’zilarida ushbu datasetlardan foydalanilganligini ko‘rishimiz mumkin [4]. Ba’zi tadqiqotlarda esa tasniflash aniqligini baholash maqsadida dala kuzatuvlari asosida to‘plangan ma’lumotlardan ham foydalanilgan [17,18,21].

Umuman olganda, Orol dengizining qurigan hududlarida yer qoplamini tasniflash jarayonida turli sinflar aniqlangan. Landsat tasvirlari (1977, 1987, 1996, 2006 va 2015 yillar) Support Vector Machine (SVM) algoritmi yordamida tahlil qilinib, yer qoplamasi suvli hududlar, tuzli tuproq, ochiq yer, o‘tloq, tuz qatlami va butazor kabi sinflarga

(cc) BY

ajratilgan [17]. Shanmugapriya tomonidan olib borilgan tadqiqotda esa dastlab dala kuzatuvlari asosida yer qoplami Silhouette tahlil texnikasidan foydalanib 17 ta sinfga ajratilgan bo‘lsa, keyinchalik bu son 10 taga qisqartirilgan [18]. Bunday qaror Landsat-8 va Sentinel-2 tasvirlarining spektral diapazonlari bir-biriga yaqinligi sababli turli xil tuzli tuproq turlarini aniqlashda yuzaga kelgan qiyinchiliklar bilan izohlanadi. Tadqiqotchi Ismail boshchiligada olib borilgan tadqiqot ishida SYTlar Bulutli, Suv, Sahro, Yashil maydon kabi sinflarga ajratilgan [19]. Boshqa bir tadqiqotda, bir nechta global tasniflash tizimlari (ESA CCI, GlobaLand30, Copernicus 100 m, MODIS Collection 5) asosida sinflarga ajratilgan. Ushbu tadqiqotda jami sinflar soni 8 taga keltirilgan bo‘lib, ular Gur o‘simliklar (sholi), Qalin o‘tloq, Botqoqlik o‘simliklari, Butazorlar, Sug‘oriladigan yoki suv bosgan yerlar, Siyrak o‘tloq, Beg‘araz yerlar va Suv havzalarini o‘z ichiga olgan [21].

Yoqirida ta’kidlab o‘tilganidek, yer qoplamalarini tasniflash uchun olib borilgan kam sonli tadqiqotlarda turli tasniflash algoritmlaridan samarali foydalanilgan. Random forest (RF) algoritmi qo‘llanilgan tadqiqotda R dasturlash tilida “randomForest” kutubxonasi orqali amalga oshirilgan. Har bir turdagi ma’lumotlar to‘plami uchun alohida RF modeli tuzilgan. Yakuniy parametrlar sifatida 300 ta daraxt va har bir tugun (node) uchun 10% xususiyatlar tanlangan [17]. Yan bir tadqiqotda sinflar RF algoritmi yordamida NDVI bilan moslashtirilgan rastr fayllar orqali tasniflangan [21]. Shuningdek, Modified VGG16 konvolujin neyron tarmog‘idan foydalanilgan yana bir tadqiqotda sinflarga ajratish aniqligi 97.34% ga yetgan. Chuqur o‘qitish usullaridan foydalanib olib borilgan kam sonli tadqiqotlarda chuqur o‘qitish algoritmlarning an’anaviy tasniflash usullaridan ustun ekanligini ko‘rish mumkin [19].

5.3. Bashorat qilish

Qurib borayotgan Orol dengizi tubi o‘zgaruvchan ekologik sharoitga ega bo‘lib, u yerda degradatsiya, sho‘rlanish, chang bo‘ronlari va eroziya kabi xavfli jarayonlar tez sur’atda kechmoqda. Yer qoplamasidagi kelajak o‘zgarishlarini oldindan bashorat qilish orqali:

- Qaysi hududlarda ekologik xavflar kuchayishini oldindan aniqlash mumkin.
- Ekotizim barqarorligiga tahdid soluvchi omillarni erta aniqlash mumkin.
- Zarur ekologik chora-tadbirlarni o‘z vaqtida ko‘rish mumkin.

Ushbu masalani yechishda SI algoritmlari bashoratlash aniqligini samarali oshirish va to‘g‘ri qarorlar qabul qilishga ko‘maklashishi mumkin. Löw va uning guruhi tomonidan oligan borilgan tadqiqotda yer qoplamidagi o‘zgarishlarni oldindan baholashda Markov - Cellular Automata (Markov - CA) modeli qo‘llanilgan [17]. Bu yondashuv Markov zanjiri (o‘zgarishlar miqdorini baholaydi) va Cellular Automata (CA) (makon va vaqt bo‘yicha dinamikani ifodalaydi) usullarini birlashtiradi. Markov modeli o‘zgarish ehtimollarini aniqlasa, CA esa ularni hududiy asosda joylashtiradi. Model 2015 yil uchun haqiqiy bashoratlarni taqdim etgan hamda 2025 yilgacha bo‘lgan bashoratlar uchun ishlatilgan. Shunga qaramay, model inson omili va ijtimoiy faktorlarni hisobga olmaydi, bu esa boshratlarning to‘liqligini cheklashga olib keladi. Samarkhanov boshchiligidagi guruh tomonidan olib borilgan tadqiqotda Long short-term memory (LSTM) chuqur o‘qitish algoritmi ishlatilgan bo‘lib, u vaqt ketma-ketligiga asoslangan ekologik o‘zgarishlarni aniqlash va bashorat qilishda samarali natijalarni bergan [20].

Muhokama

Ushbu maqolada Orol dengizi hududida yer qoplamasini tasniflash, SYTlarni tahlil qilish va SI algoritmlaridan foydalanish bo‘yicha mavjud ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Olingan natijalar va tahlillar quyidagi muhim jihatlarni ko‘rsatmoqda.

Birinchidan, aksariyat tadqiqotlarda Sentinel va Landsat sun’iy yo‘ldoshlaridan olingan tasvirlardan foydalanilgan. Ushbu tasvirlar ochiq manbalarda mavjud va foydalanish qulay bo‘lsa-da, ularning rezolyutsiyasi past bo‘lgani sababli, ayniqsa Orol dengizining qurigan maydonlaridagi kichik strukturalarni, masalan, o‘simliklar zichligi

(cc) BY

yoki butazorlarning mayda o‘zgarishlarini aniqlash imkoniyati pastroq bo‘lishi mumkin. Kattaroq fazoviy aniqlikka ega tasvirlar, masalan, PlanetScope yoki WorldView kabi tijorat yo‘ldoshlarining ma’lumotlaridan foydalanish orqali SI algoritmlarining aniqligini oshirish mumkin.

Ikkinchidan, ko‘plab ilmiy ishlarning aksariyatida ma’lumotlarga dastlabki ishlov berish bosqichlari haqida yetarlicha batafsil ma’lumot berilmagan. Bu holat tadqiqotlarning takrorlanish imkoniyatini, ya’ni reproduktivligini pasaytiradi hamda algoritmlarning natijalarini baholashda aniqlikka salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Aslida esa, spektral tarmoqlarni tanlash, bulutlarni filtrlash, geometrik tuzatish yoki NDVI hisoblash kabi ishlov berish bosqichlari tasniflash natijalariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Uchinchidan, bugungi kunda mavjud bo‘lgan GEE, OpenEO, Radiant Earth, IBM PAIRS, Microsoft Planetary Computer kabi platformalar SYTlarini SI algoritmlari yordamida tez va samarali tahlil qilish imkonini beradi. Shunga qaramay, ko‘rib chiqilgan adabiyotlar orasida bu platformalarning amalda ishlatilganligi haqida ma’lumot topilmadi. Bu esa mavjud texnologik imkoniyatlardan to‘liq foydalanilmayotganini ko‘rsatadi. Ushbu platformalar hisoblash quvvatini kamaytiradi, katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlashni soddalashtiradi hamda tadqiqotchi uchun algoritmlarni modellashtirishni bosqichini osonlashtiradi.

To‘rtinchidan, hozirgi kungacha olib borilgan tadqiqotlar ko‘proq umumiy yer qoplamasi sinflarini aniqlashga yo‘naltirilgan. Biroq, Orol dengizi havzasining o‘ziga xos ekologik holati e’tiborga olinganda, bu hududda hali o‘rganilmagan yoki kam tadqiq etilgan yo‘nalishlar mavjudligi aniqlanmoqda. Xususan, butalarning sonini aniqlash, o‘simliklar zichligini baholash, tuproq sho‘rligini masofadan turib aniqlash, o‘simliklar qoplamasi dinamikasini vaqt bo‘yicha tahlil qilish kabi masalalar hali yetarli darajada yoritilmagan. Bu esa mazkur sohada yangi, innovatsion tadqiqotlar olib borish uchun salmoqli imkoniyatlar mavjudligini ko‘rsatadi.

Nihoyat, tahlil qilingan ishlarda chuqur o‘qitish algoritmlari, ayniqsa CNN, VGG16, U-Net va boshqalari mashinali o‘qitish algoritmlariga nisbatan yuqoriroq aniqlik ko‘rsatgan. Ayniqsa, yuqori o‘lchamli va spektral jihatdan boy tasvirlarda chuqur o‘qitish algoritmlari murakkab landshaft strukturasi va spektral o‘xshashliklarni yaxshi farqlash imkonini berganini ko‘rish mumkin. Shu bois, kelajakdagi tadqiqotlarda aynan chuqur o‘qitish algoritmlariga ustuvorlik berilishi maqsadga muvofiqdir.

Xulosa

Orol dengizining qurigan hududlarini sun’iy yo‘ldosh tasvirlari asosida SI algoritmlari yordamida tahlil qilish katta ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ko‘plab olib borilgan tadqiqot ishlarida Landsat va Sentinel kabi o‘rta fazoviy aniqlikdagi manbalardan foydalanilgan bo‘lsa-da, yuqori rezolyutsiyali tasvirlar yordamida yanada aniq natijalarga erishish mumkin. Muhimi, bu yo‘nalishda hali to‘liq o‘rganilmagan bir qator masalalar mavjud - xususan, buta va o‘simliklarni sanash, o‘simliklar zichligini baholash, tuproq sho‘rlanishini masofadan aniqlash kabi jihatlar hali yetarli darajada yoritilmagan. Bu esa Orol havzasini raqamli tahlil qilishda chuqur o‘qitishga asoslangan yondashuvlarni keng joriy etish zarurligini ko‘rsatadi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Stulina G.V. at all, “Summary of the Results Report of the Final Expedition on the Dried Bed of the Aral Sea”, Report, (2024), https://www.undp.org/uzbekistan/publications/ summary-results-report-final-expedition-dried-bed-aral-sea
2. Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Sheremet, N.A., Kravtsova, V.I. (2010). Satellite Monitoring of the Aral Sea Region. In: Kostianoy, A., Kosarev, A. (eds) The Aral Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry(), vol 7. Springer,

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_2009_15
3. Löw, F., Navratil, P., Kotte, K., Schöler, H. F., & Bubenzer, O. (2013). Remote-sensing-based analysis of landscape change in the desiccated seabed of the Aral Sea--a potential tool for assessing the hazard degree of dust and salt storms. *Environmental Monitoring and Assessment*, *185*(10), 8303–8319. https://doi.org/10.1007/S10661-013-3174-7
4. Berdimbetov, T., Pushpawela, B. G., Murzintcev, N., Nietullaeva, S., Gafforov, K. Sh., Tureniyazova, A., & Madetov, D. (2024). Unraveling the Intricate Links between the Dwindling Aral Sea and Climate Variability during 2002–2017. *Climate*, *12*(7), 105. https://doi.org/10.3390/cli12070105
5. Jaksibaev, R., Gabbarov, S. N., Abdurahmanov, I., Sultashova, O. G., & Khafizova, Z. (2023). Vegetation monitoring in the South Aral Sea region by remote sensing and GIS. *E3S Web of Conferences*, *386*, 01001. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338601001
6. Zhou, J., Ke, L., Ding, X., Wang, R., & Zeng, F. (2024). Monitoring Spatial–Temporal Variations in River Width in the Aral Sea Basin with Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*. https://doi.org/10.3390/rs16050822
7. Singh, A., Behrangi, A., Fisher, J. B., & Reager, J. T. (2018). On the Desiccation of the South Aral Sea Observed from Spaceborne Missions. *Remote Sensing*, *10*(5), 793. https://doi.org/10.3390/RS10050793
8. Tao, D., Shi, H., Gao, C., Zhan, J., & Ke, X. (2020). Water Storage Monitoring in the Aral Sea and its Endorheic Basin from Multisatellite Data and a Hydrological Model. *Remote Sensing*, *12*(15), 2408. https://doi.org/10.3390/RS12152408
9. Sun, F., & Ma, R. (2019). Hydrologic changes of Aral Sea: A reveal by the combination of radar altimeter data and optical images. *Annals of Gis: Geographic Information Sciences*, *25*(3), 247–261. https://doi.org/10.1080/19475683.2019.1626909
10. Mu, G., Chen, L., Hu, L., & Song, K. (2019). Remote Detection of Varying Water Storage in Relation to Surfacial Temperature of Aral Sea. *Chinese Geographical Science*, *20*(5), 741–755. https://doi.org/10.1007/S11769-019-1069-4
11. Huang, S., Chen, X., Fang, H., Liu, T., Kurban, A., De Maeyer, P., & Van de Voorde, T. (2023). Monitoring Surface Water Area Changes in the Aral Sea Basin Using the Google Earth Engine Cloud Platform. *Water*, *15*(9), 1729. https://doi.org/10.3390/w15091729
12. Wang, J., Liu, D., Ma, J., Cheng, Y., & Wang, L. (2021). Development of a large-scale remote sensing ecological index in arid areas and its application in the Aral Sea Basin. *Journal of Arid Land*, *13*(1), 40–55. https://doi.org/10.1007/S40333-021-0052-Y
13. Duan, Z., Wang, X., & Sun, L. (2022). Monitoring and Mapping of Soil Salinity on the Exposed Seabed of the Aral Sea, Central Asia. *Water*, *14*(9), 1438. https://doi.org/10.3390/w14091438
14. Deroin J-P. Use of Remote Sensing Data to Study the Aral Sea Basin in Central Asia—Geoscience and Geological Hazards. *Remote Sensing*. 2025; 17(16):2814. https://doi.org/10.3390/rs17162814
15. Kim, T., Yun, Y., Park, S., Oh, J., & Han, Y. (2023). Change detection over the Aral Sea using relative radiometric normalization based on deep learning. *Remote Sensing Letters*, *14*(8), 821–832. https://doi.org/10.1080/2150704x.2023.2242589
16. Shen, H., Abuduwaili,, A., Ma, L., & Samat, A. (2019). Remote sensing-based land surface change dentification and prediction in the Aral Sea bed, Central Asia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*(4), 2031–2046. https://doi.org/10.1007/S13762-018-1801-0
17. Löw, F., Dimov, D., Kenjabaev, S., Zaitov, S., Stulina, G., & Dukhovny, V. (2021). Land cover change detection in the Aralkum with multi-source satellite datasets. *GIScience & Remote Sensing*, *59*(1), 17–35.

(cc) BY ©R. Nasimov, N. Nasimova, Ch. Xidirova, A. Abdusalomov, Z. Temirov

https://doi.org/10.1080/15481603.2021.2009232
18. Shanmugapriya, N. (2024). Synergizing Remote Sensing, Geospatial Intelligence, Applied Nonlinear Analysis, and AI for Sustainable Environmental Monitoring. *Communications on Applied Nonlinear Analysis*. https://doi.org/10.52783/cana.v31.1222
19. Ismail, R. J., M, S. A., Hawezi, R. Sc., Mohammed, A. H., Mahdi, A. A., Karim, N. K., Bag, M. K. D., & Othman, M. S. E. (2024). *Analyzing Remote Sensing Images Based on Climate Prediction Model for Water Resources Using Deep Learning*. https://doi.org/10.24086/cocos2024/paper.1299
20. Samarkhanov, K.; Abuduwaili, J.; Samat, A.; Issanova, G. The Spatial and Temporal Land Cover Patterns of the Qazaly Irrigation Zone in 2003–2018: The Case of Syrdarya River's Lower Reaches, Kazakhstan. *Sustainability* 2019, *11*, 4035. https://doi.org/10.3390/su11154035
21. Chatterjee, R., Chatterjee, A. & Islam, S.H. Deep learning techniques for observing the impact of the global warming from satellite images of water-bodies. *Multimed Tools Appl* 81, 6115–6130 (2022). https://doi.org/10.1007/s11042-021-11811-1

(cc) BY