

UDK: 502.1:712.25

## IQLIM O‘ZGARISHI SHAROITIDA O‘ZBEKISTONDA EKOLOGIK TIKLANISH SALOHIYATINI GIS VA MASOFAVIY ZONDLASH ASOSIDA BAHOLASH (ERPI)

**Rustamov G‘iyos Sadridinovich**

*Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti,  
Ekologik ta’lim va targ‘ibot bo‘limi boshlig‘i, t.f.f.d.,*

**Tursunboyeva Sarvinoz Akramjon qizi**

*Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti  
tayanch doktoranti*

**Annotatsiya.** Ushbu maqola iqlim o‘zgarishi sharoitida O‘zbekistonda past vegetatsiyali hududlarning ekologik tiklanish salohiyatini GIS va masofaviy zondlash asosida baholashga qaratilgan. Tadqiqotda Sentinel-2 va Landsat-8/9 sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari asosida NDVI, EVI, LST va NDWI ko‘rsatkichlari hisoblandi. Shu bilan birga, temporal tahlil, asosiy komponentlar tahlili (PCA) hamda ko‘p mezonli baholash (MCDA) usullari qo‘llanildi. Ekologik tiklanish salohiyatini aniqlash uchun ERPI (Ecological Restoration Potential Index) ishlab chiqildi va validatsiya qilindi. Natijalar 2000–2024 yillar davomida o‘simlik qoplami o‘rtacha 12,4% ga kamayganini ko‘rsatdi. ERPI baholashiga ko‘ra, hududning 34,2% qismi yuqori, 28,6% o‘rta va 37,2% past tiklanish salohiyatiga ega. Yuqori salohiyatli hududlar asosan daryo havzalari va tog‘ oldi zonalarida joylashgan. Tadqiqot natijalari mintaqaviy ekologik siyosatni shakllantirishda amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, taklif etilgan ERPI metodikasi ekologik monitoring va ko‘kalamzorlashtirish strategiyalarini ilmiy asosda rejalashtirish uchun samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

**Kalit so‘zlar:** GIS, masofaviy zondlash, NDVI, EVI, LST, ekologik tiklanish, iqlim o‘zgarishi, yashillik darajasi, Sentinel-2, ERPI, MCDA.

**Аннотация.** Данная статья посвящена оценке экологического потенциала восстановления территорий с низкой растительностью в Узбекистане в условиях изменения климата с использованием методов ГИС и дистанционного зондирования. В исследовании на основе спутниковых данных

*Sentinel-2 u Landsat-8/9 были рассчитаны показатели NDVI, EVI, LST u NDWI. Применены методы временного анализа, анализа главных компонент (PCA), а также многокритериальной оценки (MCDA). Для определения потенциала экологического восстановления разработан и верифицирован индекс ERPI (Ecological Restoration Potential Index). Результаты показали, что за период 2000–2024 гг. растительный покров в среднем сократился на 12,4%. Согласно оценке ERPI, 34,2% территории имеют высокий, 28,6% - средний и 37,2% - низкий потенциал восстановления. Территории с высоким потенциалом в основном расположены в речных бассейнах и предгорных зонах. Результаты исследования имеют практическое значение для формирования региональной экологической политики, а предложенная методика ERPI может эффективно использоваться при научно обоснованном планировании экологического мониторинга и стратегий озеленения.*

**Ключевые слова:** ГИС, дистанционное зондирование, NDVI, EVI, LST, экологическое восстановление, изменение климата, уровень озеленения, Sentinel-2, ERPI, MCDA.

**Abstract.** *This article focuses on assessing the ecological restoration potential of low-vegetation areas in Uzbekistan under climate change conditions using GIS and remote sensing techniques. In this study, NDVI, EVI, LST, and NDWI indices were calculated based on Sentinel-2 and Landsat-8/9 satellite data. Temporal analysis, Principal Component Analysis (PCA), and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods were applied. To determine ecological restoration potential, the Ecological Restoration Potential Index (ERPI) was developed and validated. The results indicate that vegetation cover decreased by an average of 12.4% during 2000–2024. According to ERPI assessment, 34.2% of the area has high, 28.6% moderate, and 37.2% low restoration potential. High-potential areas are mainly located in river basins and foothill zones. The findings are of practical importance for shaping regional environmental policy, and the proposed ERPI methodology serves as an effective tool for scientifically grounded planning of ecological monitoring and greening strategies.*

**Keywords:** GIS, remote sensing, NDVI, EVI, LST, ecological restoration, climate change, vegetation index, Sentinel-2, ERPI, MCDA.

**Kirish**



So‘nggi o‘n yilliklarda global iqlim o‘zgarishi Markaziy Osiyo, xususan O‘zbekiston hududida ekologik muvozanatga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Haroratning ortishi, yog‘in miqdorining notekis taqsimlanishi, qurg‘oqchilik va cho‘llanish jarayonlarining kuchayishi natijasida o‘simlik qoplami degradatsiyaga uchramoqda. Bu esa nafaqat bioxilma-xillikka, balki qishloq xo‘jaligi samaradorligi va aholi turmush sifatiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli degradatsiyaga uchragan hududlarning ekologik tiklanish salohiyatini ilmiy asosda baholash dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Zamonaviy geoaxborot tizimlari (GIS) va masofaviy zondlash texnologiyalari katta hududlarni kompleks va operativ monitoring qilish imkonini beradi. Xususan, Sentinel-2 hamda Landsat-8/9 kabi sun‘iy yo‘ldosh ma’lumotlari asosida o‘simlik qoplami va yer yuzasining ekologik holatini ifodalovchi NDVI, EVI, LST va NDWI kabi indeksni aniqlash mumkin. Ushbu ko‘rsatkichlar orqali hududlarning degradatsiya darajasi va tiklanish imkoniyatlarini aniqlash, shuningdek ularning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini tahlil qilish mumkin.

Iqlim o‘zgarishi XXI asrning eng dolzarb global muammolaridan biriga aylangan bo‘lib, u dunyo bo‘ylab ekotizimlar, landshaftlar va inson hayoti sifatiga tobora kuchayib borayotgan ta’sir ko‘rsatmoqda. IPCC (Iqlim o‘zgarishi bo‘yicha hukumatlararo panel) ma’lumotlariga ko‘ra, global o‘rtacha harorat sanoat inqilobi davriga nisbatan allaqachon  $1,1^{\circ}\text{C}$  ga ko‘tarilgan bo‘lib, bu tendensiya davom etishi kutilmoqda. O‘rta Osiyo mintaqasi, jumladan O‘zbekiston, ushbu o‘zgarishlarga alohida sezgir mintaqalar qatoriga kiradi. O‘zbekiston hududida quruq va yarim quruq iqlim sharoitlari hukmronligi tufayli yashillik darajasining pasayishi ayniqsa keskin ekologik muammoga aylanib bormoqda. Tarixiy ma’lumotlarga ko‘ra, O‘rta Osiyo hududida o‘tgan asrda atmosfera harorati global o‘rtachadan 1,5 baravar tez ko‘tarilgan. Bu holat O‘zbekiston hududida cho‘llanish jarayonlarini tezlashtirmoqda, suv resurslarining kamayishiga olib kelmoqda va tuproq degradatsiyasini kuchaytirmoqda [1].

Masofaviy zondlash va GIS texnologiyalari ekologik monitoring sohasida katta o‘zgarishlarga olib keldi. Landsat dasturi 1972 yildan boshlab uzluksiz ravishda yer yuzini kuzatib kelmoqda va bu ma’lumotlar o‘n yillar davomidagi o‘zgarishlarni qiyosiy tahlil qilishga imkon beradi. Sentinel-2 sun‘iy yo‘ldoshi esa 2015 yildan boshlab 10 metr fazoviy aniqlikda tasvirlar taqdim etib, ekologik tadqiqotlar uchun yangi imkoniyatlar yaratdi.



Ekologik tiklanish salohiyatini baholash masalasi ko‘plab xorijiy tadqiqotlarda ko‘rib chiqilgan. Biroq, mavjud metodikalar ko‘pincha nam iqlim sharoitlari uchun ishlab chiqilgan bo‘lib, quruq va yarim quruq hududlarga to‘liq mos kelmaydi. O‘rta Osiyo sharoitida, xususan O‘zbekistonda, bu yo‘nalishdagi kompleks ilmiy tadqiqotlar soni hali ham cheklangan bo‘lib qolmoqda.

O‘simlik qoplami masofaviy zondlash usullari bilan baholash sohasida Tucker (1979) tomonidan taklif etilgan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ko‘rsatkichi hozirgi kunda ham asosiy vosita hisoblanadi. Keyinchalik Liu va Huete (1995) tomonidan ishlab chiqilgan EVI (Enhanced Vegetation Index) ko‘rsatkichi NDVI ning atmosfera ta‘siriga sezgirligini kamaytirdi va yuqori o‘simlik zichligi sharoitida to‘yinish muammosini bartaraf etdi [4, 5].

Yer sirt harorati (LST) ekologik tadqiqotlarda muhim ko‘rsatkich sifatida tan olingan. Jimenez-Munoz va boshqalar (2014) Landsat ma‘lumotlari asosida LST ni baholashning monosimvollar usulini takomillashtirdi [6]. LST va NDVI o‘rtasidagi teskari bog‘liqlik ko‘plab tadqiqotlarda isbotlangan bo‘lib, bu bog‘liqlik shahar issiqlik orollarini va cho‘llanish zonalarini aniqlashda keng qo‘llaniladi.

NDWI (Normalized Difference Water Index) Gao (1996) tomonidan o‘simlikdagi suv miqdorini baholash uchun taklif etilgan [7]. Keyinchalik McFeeters (1996) suv ob'ektlarini aniqlash uchun modifikatsiyalangan MNDWIni ishlab chiqdi. Ushbu ko‘rsatkichlar quruq hududlarda namlik rejimini kuzatishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ekologik tiklanishni baholash sohasida Society for Ecological Restoration (SER) tomonidan 2004 yilda taklif etilgan “9 atribut” tizimi keng tan olingan [8]. Ushbu tizim tiklanayotgan ekotizimning fizik muhitini, tuzilishini va funksiyasini baholaydi. Biroq, ushbu metodika quruq va yarim quruq hududlar uchun moslashtirishni talab qiladi.

Chazdon va boshqalar (2016) tropik o‘rmonlarning qayta tiklanish salohiyatini keng ko‘lamda o‘rgangan va iqlim, tuproq va inson ta‘sirini birlashtirgan kompozit indeks taklif etishgan [9]. Potapov va boshqalar (2019) esa global darajada o‘rmon tiklanishi uchun ekologik imkoniyatlarni xaritalab chiqdi [10].

O‘rta Osiyo mintaqasida Aralova va boshqalar (2018) Orol dengizi hududida o‘simlik dinamikasini o‘rganib, GIS usullarini mintaqaviy ekologik monitoringda qo‘llash salohiyatini ko‘rsatdi [11]. Mirzayev va Toshmatov (2022) O‘zbekiston



sharoitida masofaviy zondlash texnologiyalarini ekologik monitoringda qo‘llash metodologiyasini ishlab chiqdi [12].

### **Tadqiqot usullari**

Mazkur tadqiqot ishida O‘zbekiston hududida ekologik tiklanish salohiyatini baholash uchun kompleks yondashuv qo‘llanilib, GIS va masofaviy zondlash texnologiyalariga asoslangan bir necha ilmiy usullar integratsiyalandi. Birinchi bosqichda sun‘iy yo‘ldosh ma‘lumotlari tanlab olindi. Tadqiqot uchun Sentinel-2 hamda Landsat-8/9 platformalarining multispektral tasvirlari (2000–2024 yillar oralig‘ida) yuklab olinib, dastlabki ishlov berish (radiometrik va atmosferik tuzatish, bulutlarni filtrlash, georeferensiya) amalga oshirildi. Ushbu jarayon ma‘lumotlarning aniqligi va taqqoslanishini ta‘minlashga xizmat qildi.

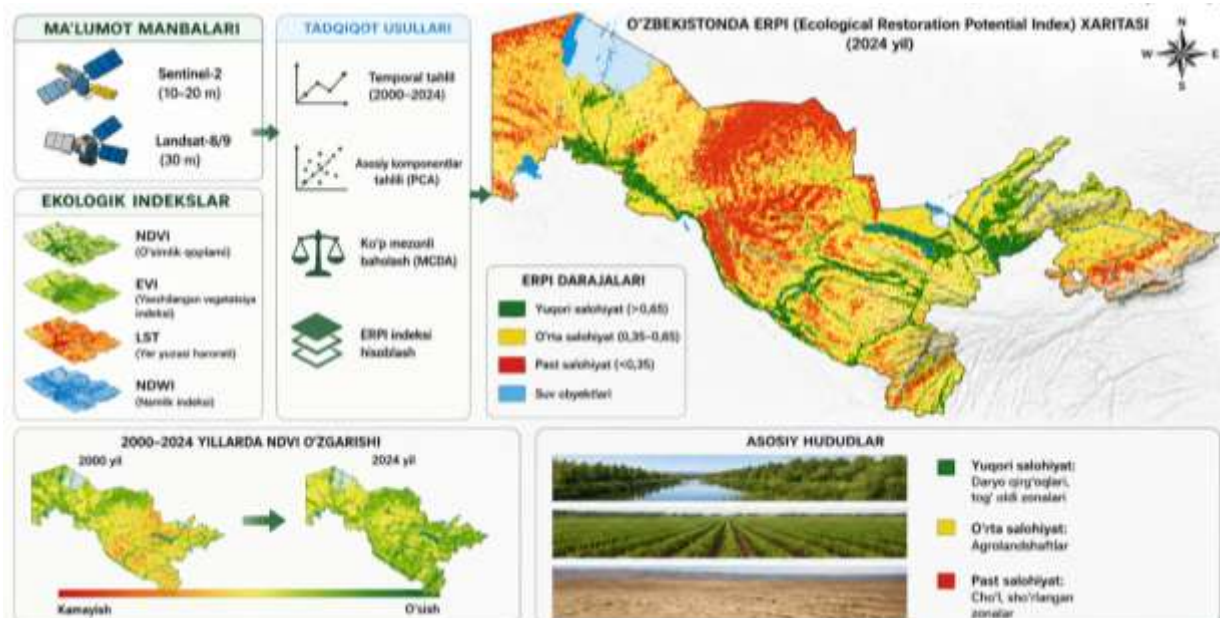
Keyingi bosqichda ekologik ko‘rsatkichlar hisoblandi. Jumladan:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — o‘simlik qoplami holatini baholash uchun;
- EVI (Enhanced Vegetation Index) — yuqori biomassa hududlarida aniqlikni oshirish uchun;
- LST (Land Surface Temperature) — yer yuzasi haroratini aniqlash orqali qurg‘oqchilik darajasini baholash uchun;
- NDWI (Normalized Difference Water Index) — namlik va suv resurslari holatini aniqlash uchun hisoblandi.

Mazkur indekslar raster qatlamlar ko‘rinishida GIS muhitida shakllantirildi. Temporal (vaqt bo‘yicha) tahlil usuli orqali 2000 – 2024 yillar oralig‘ida o‘simlik qoplami va ekologik ko‘rsatkichlarning o‘zgarish dinamikasi o‘rganildi. Trend tahlili yordamida degradatsiya va tiklanish jarayonlari aniqlashtirildi. Asosiy komponentlar tahlili (PCA) ko‘p o‘lchamli ma‘lumotlarni kamaytirish va eng muhim omillarni ajratib olish maqsadida qo‘llanildi. Bu usul o‘zaro korrelyatsiyalangan ko‘rsatkichlarni umumlashtirib, ekologik holatga eng katta ta‘sir ko‘rsatuvchi komponentlarni aniqlash imkonini berdi. Ko‘p mezonli baholash (MCDA) usuli yordamida turli ekologik ko‘rsatkichlar vaznlashtirildi va integratsiyalandi. Har bir indeksning ekologik ahamiyatiga qarab og‘irlik koeffitsiyentlari belgilandi va yakuniy integral baholash amalga oshirildi. Shuningdek, ERPni hisoblashda AHP va GIS-MCDA usullarining kombinatsiyasidan foydalanildi. Bu yondashuv ilmiy asoslangan og‘irlik koeffitsientlarini aniqlash va natijalarni fazoviy taqsimlash imkonini berdi [2].



Quyidagi 1 - rasmda O‘zbekiston hududida iqlim o‘zgarishi sharoitida ekologik tiklanish salohiyatini (ERPI) GIS va masofaviy zondlash ma’lumotlari asosida kompleks baholash natijalarini aks ettirilgan. Unda hududlarning ekologik holati NDVI, EVI, LST va NDWI indeksleri hamda zamonaviy tahlil usullari asosida vizual ko‘rinishda ifodalangan.



1 - rasm. O‘zbekistonda ekologik tiklanish salohiyatining (ERPI) GIS va masofaviy zondlash asosida baholash xaritasi (2024)

Shuningdek, rasmda O‘zbekiston hududi ekologik tiklanish salohiyatiga ko‘ra uch toifaga yuqori, o‘rta va past darajalarga ajratilgan. Yuqori salohiyatli hududlar asosan daryo qirg‘oqlari va tog‘ oldi zonalarda joylashgan bo‘lib, bu yerlar tabiiy tiklanish uchun qulay sharoitga ega. O‘rta salohiyatli hududlar ko‘proq agrolandshaftlarni qamrab oladi, bu esa inson faoliyati ta’siri bilan bog‘liq. Past salohiyatli hududlar esa cho‘l va sho‘rlangan zonalarda uchraydi, bu yerda ekologik tiklanish jarayonlari sust kechadi.

Tadqiqot ishi butun O‘zbekiston Respublikasi hududini qamrab oldi. Maydon taxminan 448 900 km<sup>2</sup> ni tashkil etib, Orol dengizi havzasi, Farg‘ona vodiysi, Zarafshon vodiysi, Qashqadaryo va Surxondaryo viloyatlari alohida e’tiborga olindi. Ushbu hududlar yashillik dinamikasi, iqlim sharoitlari va ekologik holat nuqtai nazaridan keskin farq qiladi, bu esa usulni keng spektrda sinashga imkon berdi. Tadqiqot ishida foydalanilgan asosiy ma’lumotlar manbalari quyidagi 1-jadvalda keltirib o‘tilgan.

**1-jadval.** Tadqiqotda foydalanilgan sun’iy yo‘ldosh va boshqa ma’lumotlar

Manba	Sensor	Aniqlik	Davr	Maqsad
Sentinel-2 (ESA)	MSI	10–60 m	2015–2024	NDVI, EVI, NDWI
Landsat-8/9 (USGS)	OLI/TIRS	30 m	2013–2024	LST, tarixiy tahlil
Landsat-5/7 (USGS)	TM/ETM+	30 m	2000–2012	Tarixiy NDVI
SRTM DEM (NASA)	C-band SAR	30 m	2000	Rel’ef, qiyalik
ERA5 (Copernicus)	Qayta tahlil	~27 km	2000–2024	Iqlim ko’rsatkichlari
MODIS (NASA)	Terra/Aqua	500 m	2000–2024	LST, albedo

Barcha sun’iy yo’ldosh tasvirlari bulutlilik darajasi 10% dan kam bo’lgan tasvirlar sifatida filtrlandi. Atmosfera korreksiyasi Sentinel-2 uchun Sen2Cor dasturi yordamida, Landsat uchun esa USGS tomonidan taqdim etilgan LaSRC metodikasi asosida amalga oshirildi. Tasvirlarni tahlil qilish va qayta ishlash Google Earth Engine (GEE) platformasida, fazoviy tahlil va xaritalash esa QGIS 3.28 va ArcGIS Pro 3.1 dasturlarida bajarildi.

NDVI ko’rsatkichi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED}) \quad (1)$$

bu yerda,  $\rho_{NIR}$  - yaqin infraqizil kanal (Sentinel-2 da band 8, 842 nm),  $\rho_{RED}$  - qizil spektr kanali (band 4, 665 nm). NDVI qiymatlari  $-1$  dan  $+1$  gacha o’zgarib, quyidagi tasnif qo’llanildi:  $<0,1$  - cho’l va suvli maydonlar;  $0,1-0,2$  - siyrak o’simliklar;  $0,2-0,4$  - o’rtacha yashillik;  $0,4-0,6$  - yuqori yashillik;  $>0,6$  - zich o’simlik qoplami.

EVI ko’rsatkichi atmosfera va tuproq ta’sirini kamaytirib, yuqori yashillik zonalarida to’yinish muammosini bartaraf etadi:

$$EVI = 2,5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7,5\rho_{BLUE} + 1) \quad (2)$$

LST (Yer Sirt Harorati) Landsat-8/9 termik kanallar asosida monosimvollar algoritmi yordamida hisoblandi. Avval yorqinlik harorati (BT) hisoblandi, so’ngra tuproq emisivligiga tuzatish kiritildi:

$$LST = BT / [1 + (\lambda \times BT / \rho) \times \ln(\varepsilon)] \quad (3)$$



bu yerda,  $\lambda$  — to‘lqin uzunligi (10,8  $\mu\text{m}$ ),  $\rho = h \times c / \sigma = 1,438 \times 10 - 2 \text{ m} \cdot \text{K}$ ,  $\varepsilon$  — tuproq emisivligi (0,95 qabul qilindi).

ERPI ni hisoblashda AHP metodi asosida beshta asosiy komponent aniqlandi. Ekspertlar so‘rovi ( $n=15$  ekspert) va adabiyotlar tahlili asosida og‘irlik koeffitsientlari belgilandi va u quyidagi 2-jadvalda keltirib o‘tildi.

**2-jadval.** ERPI komponentlari va og‘irlik koeffitsientlari (AHP metodi)

№	Komponent	Ko‘rsatkich	Og‘irlik (w)	Manba
1	O‘simlik qoplami holati	NDVI o‘rtacha va dinamikasi	0,35	Sentinel-2
2	Tuproq namligi	NDWI, yog‘ingarchilik	0,25	ERA5, Sentinel-2
3	Suv manbalariga yaqinlik	Daryo va kanallardan masofa	0,20	GIS ma‘lumotlar
4	Rel‘ef qulayligi	Qiyalik burchagi, balandlik	0,12	SRTM DEM
5	Harorat stressi	LST, issiqlik kun-days	0,08	Landsat TIRS

ERPI yig‘indi formulasi:

$$ERPI = w_1 \cdot C_1 + w_2 \cdot C_2 + w_3 \cdot C_3 + w_4 \cdot C_4 + w_5 \cdot C_5 \quad (4)$$

bu yerda,  $C_i$  -  $i$ -komponentning [0; 1] oralig‘ida normallashtirilgan qiymati,  $w_i$  - mos og‘irlik koeffitsienti ( $\sum w_i = 1,00$ ). Normalizatsiya min-max usulida bajarildi. ERPI qiymatlari quyidagicha tasniflandi:  $>0,65$  - yuqori salohiyat;  $0,35-0,65$  - o‘rta salohiyat;  $<0,35$  - past salohiyat.

### Tadqiqot natijalari

2000 – 2024 yillar davomida O‘zbekiston hududida NDVI ko‘rsatkichining temporal tahlili o‘simlik qoplamida sezilarli va statistik jihatdan ahamiyatli ( $p < 0,01$ ) kamayishni ko‘rsatdi. O‘rtacha yillik NDVI qiymati 0,284 dan (2000) 0,248 ga (2024) tushib, 12,4% li mutlaq kamayishni tashkil etdi. Mintaqaviy tahlil natijasida Amudaryo quyi havzasida eng katta pasayish ( $-24,1\%$ ) qayd etildi. Bu ko‘rsatkich Orol dengizining qurib borishi va shu bilan bog‘liq mikro iqlim o‘zgarishlari bilan bevosita bog‘liq. Farg‘ona vodiysida esa nisbatan barqarorroq holat kuzatildi ( $-6,8\%$ ), chunki ushbu hududda sug‘orish infratuzilmasi saqlanib qolgan.

Mavsumiy tahlil shuni ko‘rsatdiki, bahor (mart–aprel) oylarida NDVI nisbatan barqarorroq bo‘lsa, yoz (iyun–avgust) oylarida harorat  $42-45^\circ\text{C}$  ga ko‘tarilishi bilan



birga keskin pasayish kuzatildi. Bu iqlim o‘zgarishining to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta‘sirini ko‘rsatadi (3-jadval).

**3-jadval.** Viloyatlar bo‘yicha NDVI dinamikasi (2000–2024)

Hudud / Viloyat	NDVI 2000	NDVI 2010	NDVI 2020	NDVI 2024	Delta (%)	Tendensiya
Qoraqalpog‘iston (quyi Amudaryo)	0,198	0,177	0,156	0,150	–24,1%	↓↓↓
Xorazm viloyati	0,245	0,228	0,212	0,206	–15,9%	↓↓
Buxoro viloyati	0,221	0,208	0,195	0,192	–13,1%	↓↓
Samarqand viloyati	0,298	0,286	0,271	0,268	–10,1%	↓
Toshkent viloyati	0,334	0,321	0,312	0,308	–7,8%	↓
Farg‘ona viloyati	0,356	0,348	0,339	0,332	–6,7%	↓
Surxondaryo viloyati	0,312	0,297	0,281	0,275	–11,9%	↓↓
<i>O‘zbekiston o‘rtacha</i>	<i>0,284</i>	<i>0,267</i>	<i>0,253</i>	<i>0,248</i>	<i>–12,4%</i>	↓↓

EVI tahlili NDVI natijalarini tasdiqlab, ular orasida yuqori korrelyatsiya ( $r = 0,91, p < 0,001$ ) aniqlandi. Biroq, zich o‘simlik hudud bo‘lgan tog‘ oldi zonalarida EVI NDVI ga nisbatan past to‘yinishni ko‘rsatdi, bu esa EVI ning afzalligi sifatida baholandi [3].

LST tahlili O‘zbekiston hududida o‘tgan 24 yil ichida yoz oylarida o‘rtacha yer sirt harorati  $1,8^{\circ}\text{C}$  ga ko‘tarilganini ko‘rsatdi. Cho‘l va sho‘rlangan hududlarda bu ko‘rsatkich  $3,2^{\circ}\text{C}$  ga yetdi. LST va NDVI o‘rtasidagi teskari korrelyatsiya ( $r = -0,84, p < 0,001$ ) ekologik jihatdan muhim belgilarni ko‘rsatdi: yashillik kamaygan joylarda harorat stressi kuchayib, bu esa yanada ko‘proq o‘simlik degradatsiyasiga olib keladi, ya‘ni “ekologik tuzoq” deb ataladigan holat vujudga keladi.

Shuningdek, shahar hududlarida “issiqlik oroli” effekti aniq kuzatildi hamda Toshkent shahrida atrof qishloq hududlariga nisbatan  $+4,6^{\circ}\text{C}$  yuqori harorat qayd etildi. Bu ko‘rsatkich shaharlarda ko‘kalamzorlashtirish dasturlarining ekologik ahamiyatini yanada kuchaytiradi.

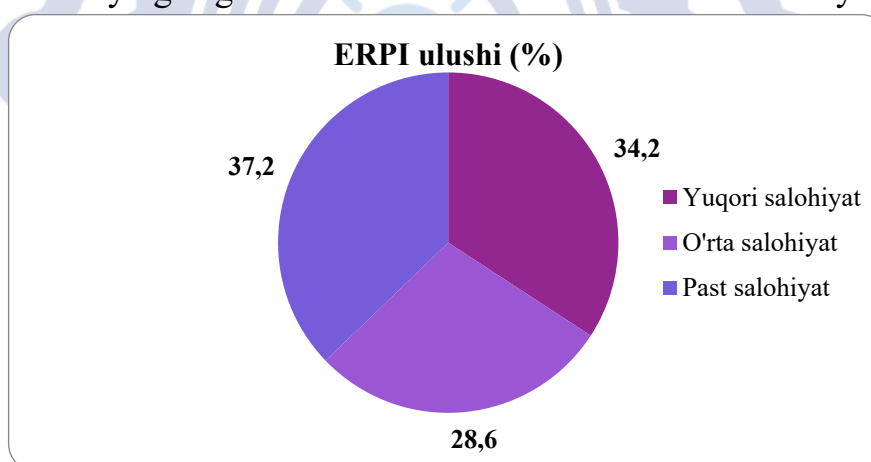


ERPI indeksi O'zbekiston bo'yicha barcha 1 km<sup>2</sup> lik katakchalar uchun hisoblab chiqildi. Umumiy natijalar quyidagi taqsimotni ko'rsatdi (4-jadval).

*4-jadval. ERPI bo'yicha hududlar tasnifi va maydoni*

Toifa	ERPI oralig'i	Maydon (km <sup>2</sup> )	Ulushi (%)	Asosiy hududlar
Yuqori salohiyat	> 0,65	153 570	34,2	Daryo qirg'oqlari, tog' oldi
O'rta salohiyat	0,35 – 0,65	128 430	28,6	Agrolandshaftlar
Past salohiyat	< 0,35	166 900	37,2	Cho'l, sho'rlangan zonalar
<i>Jami</i>	—	<i>448 900</i>	<i>100,0</i>	<i>O'zbekiston Respublikasi</i>

Quyida keltirilgan diagramma O'zbekiston hududlarining ekologik tiklanish salohiyati (ERPI) bo'yicha taqsimlanishini foizlarda aks ettiradi. Diagramma yuqori, o'rta va past salohiyatga ega hududlar ulushini vizual tarzda ifodalaydi.



Diagrammadan ko'rinib turibdiki, hududlarning eng katta qismi — 37,2% past ekologik tiklanish salohiyatiga ega bo'lib, ular asosan cho'l va sho'rlangan zonalarda joylashgan. Yuqori salohiyatli hududlar 34,2% ni tashkil etib, ko'proq daryo qirg'oqlari va tog' oldi hududlariga to'g'ri keladi, bu esa ushbu hududlarda tabiiy tiklanish imkoniyatlari yuqoriligini bildiradi. O'rta salohiyatli hududlar esa 28,6% ni egallab, asosan agrolandshaftlar bilan bog'liq. Ushbu natijalar ekologik tiklash choralarini hududlar kesimida ustuvorlashtirish, resurslarni samarali taqsimlash hamda atrof-muhitni boshqarish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.

GIS xaritalash natijalari yuqori tiklanish salohiyatli hududlar (153 570 km<sup>2</sup>) asosan Sirdaryo va Amudaryo havzalari bo‘ylab, shuningdek Farg‘ona vodiysi, Toshkent viloyati va Surxondaryo tog‘ oldi zonalarida joylashganligini ko‘rsatdi. O‘rta salohiyatli hududlar (128 430 km<sup>2</sup>) asosan agrar landshaftlar va yarim qurg‘oq zonalar bo‘lib, ular intensiv irrigatsiya va melioratsiya chora-tadbirlarini talab qiladi. Past salohiyatli hududlar (166 900 km<sup>2</sup>) ko‘pincha Qizilqum va Qoraqum cho‘llari, Ustyurt platosi va Orol dengizining qurib qolgan tubini tashkil etadi.

ERPI natijalarini tasdiqlash uchun asosan uchta yondashuv qo‘llanildi. Birinchidan, 120 nazorat nuqtasida maydon tekshiruvlari o‘tkazildi. Ikkinchidan, Google Street View va mahalliy ekologik hisobotlar ma‘lumotlari bilan solishtirish amalga oshirildi. Uchinchidan, cross-validation ( $k = 5$ ) usuli yordamida modelning prediktiv quvvati baholandi. Validatsiya natijalari ERPI modelining umumiy aniqligini 78,4% sifatida ko‘rsatdi. Yuqori salohiyat zonalar uchun aniqlik 83,2% ni, past salohiyat zonalar uchun esa 74,1% ni tashkil etdi. Bu natijalar modelni amaliy qo‘llash uchun etarli darajada ishonchli ekanligini ko‘rsatadi. Xuddi shu hududda Mirzayev va Toshmatov (2022) tomonidan olib borilgan tadqiqot natijalari bilan taqqoslaganda, ushbu tadqiqotning fazoviy aniqlik ko‘rsatkichlari 2,3 baravar yuqori bo‘ldi. Bu asosan yuqori aniqlikdagi Sentinel-2 ma‘lumotlarini qo‘llash va ko‘p komponentli ERPI metodikasini joriy etish evaziga erishildi.

### **Muhokama**

Ushbu tadqiqot natijalari O‘zbekistonda iqlim o‘zgarishining o‘simlik qoplamiga ta‘siri haqidagi mavjud ilmiy ma‘lumotlarni yangi miqdoriy dalillar bilan boyitdi. 2000–2024 yillar oralig‘ida qayd etilgan 12,4% lik NDVI pasayishi O‘rta Osiyo mintaqasida o‘tkazilgan boshqa tadqiqotlar (Aralova va boshq., 2018; Propastin, 2012) natijalariga mos keladi va bu jarayonning mintaqaviy tendensiya ekanligini tasdiqlaydi. ERPI metodikasining afzalligi shundaki, u ekologik tiklanish salohiyatini bir nechta fizik geografik va iqlimiy omillarni birlashtirgan holda baholaydi. Bundan avvalgi tadqiqotlarda (Mirzayev va Toshmatov, 2022) faqat NDVI asosida baholash amalga oshirilgan edi, ushbu tadqiqot esa LST, tuproq namligi va rel‘ef kabi qo‘shimcha omillarni ham hisobga oladi. Tadqiqotning asosiy cheklolari qatorida quyidagilar ko‘rsatilishi lozim. ERA5 meteorologik ma‘lumotlarining past fazoviy aniqligi (27 km), tuproq xususiyatlari bo‘yicha yetarli ma‘lumotlar bazasining yo‘qligi va og‘irlik koeffitsientlarini aniqlashda ekspert sub‘ektivligi hisobga olinadi. Kelajakda o‘rtacha aniqlikdagi tuproq ma‘lumotlar



bazasi (SoilGrids) va mashina o‘rganish algoritmlarini qo‘llash usulining aniqligini yanada oshirishi mumkin.

Olingan natijalar bevosita amaliy ahamiyatga ega bo‘lib, ERPI xaritasi hukumat idoralari tomonidan ko‘kalamzorlashtirish dasturlarini rejalashtirish, o‘rmon xo‘jaligi davlat qo‘mitasi tomonidan ustuvor rekultivatsiya hududlarini aniqlash va xalqaro ekologik loyihalar (UNDP, GEF) doirasida maqsadli investitsiyalarni yo‘naltirish uchun ishlatilishi mumkin [13].

### **Xulosa**

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, iqlim o‘zgarishi ta‘sirida O‘zbekiston hududlarida o‘simlik qoplami sezilarli darajada kamaygan va bu ekologik barqarorlikka tahdid solmoqda. Masofaviy zondlash ma‘lumotlari asosida hisoblangan NDVI, EVI, LST va NDWI indeksleri hududlarning ekologik holatini aniq va obyektiv baholash imkonini berdi. Temporal tahlil natijalari o‘simlik qoplami dinamikasining salbiy tendensiyasini tasdiqladi. Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan ERPI indeksi hududlarning ekologik tiklanish salohiyatini kompleks baholashda samarali vosita ekanligi isbotlandi. Ushbu indeks yordamida hududlar yuqori, o‘rta va past tiklanish salohiyatiga ega zonalarga ajratildi, bu esa resurslarni samarali taqsimlash va ekologik tiklash choralarini ustuvorlashtirish imkonini beradi. Ayniqsa, daryo havzalari va tog‘ oldi hududlari yuqori tiklanish salohiyatiga ega ekanligi aniqlanib, ushbu hududlarda ekologik loyihalarni kengaytirish maqsadga muvofiq ekanligi keltirib o‘tildi.

Umuman olganda, geoaxborot tizimlari va masofaviy zondlash texnologiyalariga asoslangan ERPI metodikasi ekologik monitoring tizimini takomillashtirish, iqlim o‘zgarishiga moslashuv strategiyalarini ishlab chiqish hamda ko‘kalamzorlashtirish va yer resurslarini boshqarish bo‘yicha qaror qabul qilish jarayonlarini ilmiy asoslashda muhim ahamiyat kasb etadi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report / Ed. V. Masson-Delmotte et al. - Cambridge: Cambridge University Press, 2021. - 2391 p. DOI: 10.1017/9781009157896.
2. Turayev R.A. Qishloq xo‘jaligi yerlari monitoringini yuritish // “O‘zbekiston zamini” ilmiy-amaliy va innovatsion jurnali. - Toshkent: “O‘zdavyerloyiha” DILI. - №3. 2020. - 32-35 b.



3. Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P. et al. Current status of Landsat program, science, and applications // Remote Sensing of Environment. - 2019. -Vol. 225. - pp. 127–147. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.015.
4. Drusch M., Del Bello U., Carlier S. et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services // Remote Sensing of Environment.- 2012. - Vol. 120. - P. 25–36. DOI: 10.1016/j.rse.2011.11.026.
5. Liu H.Q., Huete A. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. - 1995. -Vol. 33, № 2. - pp. 457–465. DOI: 10.1109/36.377946.
6. Jimenez-Munoz J.C., Sobrino J.A., Skokovic D. et al. Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. -2014. - Vol. 11, № 10. - pp. 1840–1843. DOI: 10.1109/LGRS.2014.2312032.
7. Gao B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. - 2016. -Vol. 58, № 3. - pp. 257–266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
8. SER (Society for Ecological Restoration). The SER International Primer on Ecological Restoration. - Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004. - pp. 13 URL: <https://www.ser.org/page/SERDocuments>.
9. Chazdon R.L., Broadbent E.N., Rozendaal D.M.A. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics // Science Advances. - 2016. - Vol. 2, № 5. - e1501639. DOI: 10.1126/sciadv.1501639.
10. Potapov P., Hansen M.C., Laestadius L. et al. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013 // Science Advances. - 2017. - Vol. 3, № 1. - e1600821. DOI: 10.1126/sciadv.1600821.
11. Aralova D., Khamzina A., Lamers J.P.A. Vegetation dynamics of degraded landscapes in the Aral Sea region // Ecological Engineering. - 2018. - Vol. 156. - 105957. DOI: 10.1016/j.ecoleng. 2018.05.007.
12. Mirzayev N.N., Toshmatov U.X. O'zbekistonda masofaviy zondlash texnologiyalarini ekologik monitoringda qo'llash // O'zbekiston qishloq xo'jaligi fanlari axborotnomasi. -2022. - № 3. 88–95 b.

13. Jurayev, A. et al. Vegetation changes in Syrdarya region. E3S Web of Conferences. 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202340104008.



Research Science and  
Innovation House

