IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 23 Issue 01 AVGUST 2026

UDK 528.9:504.3.054(575.1)

SUV RESURSLARI, YASHIL QOPLAMA VA SHAHAR ISSIQLIK OROLI KO‘RSATKICHLARI ASOSIDA INTEGRATSIYALASHGAN EKOLOGIK BARQARORLIK INDEKSINI HISOBLASH

Fayzullayev Mirzohid Nurali o‘g‘li
“Tashgistechnologies” MChJ 4-kategoriyali xaritachi

Muslimbekov Baxodir Mirza o‘g‘li
“Kosmik monitoring va geoaxborot texnologiyalari markazi” MChJ, Yetakchi mutaxassis
https://doi.org/10.5281/zenodo.21905062

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada Toshkent viloyati misolida suv resurslari, o‘rmon-yashil qoplam va yer yuzasi termal rejimi (shahar issiqlik oroli — UHI) ko‘rsatkichlarini birlashtirgan Integratsiyalashgan Ekologik Barqarorlik Indeksi (IEBI) modeli taklif etiladi. Model Landsat va Sentinel seriyali kosmik tasvirlar asosida hisoblangan NDVI, MNDWI va LST spektral indekslarini entropiya vaznlash usuli yordamida bitta kompleks ko‘rsatkichga birlashtirish orqali quriladi. 2000–2025 yillar oralig'idagi ko‘p yillik tahlil Mann-Kendall trend testi yordamida amalga oshirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, tadqiqot hududida IEBI qiymati statistik ahamiyatli manfiy tendensiyaga ega (Sen's slope ≈ −0,034/yil), bu esa urbanizatsiya jarayoni kuchaygan hududlarda ekologik barqarorlikning izchil pasayib borayotganidan dalolat beradi. Toshkent shahri markaziy qismida IEBI eng past qiymatga (0,31), B‘stonliq tumanida esa eng yuqori qiymatga (0,78) erishdi. Taklif etilgan model hududiy rejalashtirish va ekologik siyosat qarorlarini qabul qilishda amaliy qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: geoinformatika, masofaviy zondlash, ekologik barqarorlik indeksi, shahar issiqlik oroli, NDVI, MNDWI, GIS, urbanizatsiya, Mann-Kendall trend tahlili.

KIRISH

So‘nggi o‘n yilliklarda O‘zbekistonda, xususan Toshkent viloyati kabi yirik agglomeratsiyalarda, kuchli urbanizatsiya jarayoni kuzatilmoqda. Shahar hududlarining kengayishi qishloq xo‘jaligi va tabiiy landshaftlar hisobiga sodir bo‘lib, bu esa o‘z navbatida yashil qoplam maydonining qisqarishi, suv resurslariga bosimning ortishi va yer yuzasi termal rejimining o‘zgarishi (shahar issiqlik oroli effekti) kabi bir qator ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda.

Mavjud ilmiy adabiyotda ushbu uchta jarayon — suv resurslari holati, o‘rmon-yashil qoplam dinamikasi va shahar issiqlik oroli — asosan bir-biridan alohida, mustaqil tadqiqot obyekti sifatida o‘rganib kelinmoqda. Biroq amaliyot shuni ko‘rsatadiki, bu jarayonlar chambarchas bog'liq: yashil qoplamning qisqarishi ham suv bug'lanishi rejimiga, ham yer yuzasi haroratiga bevosita ta'sir ko‘rsatadi, o‘z navbatida issiqlik oroli intensivligi mahalliy iqlim va suv balansiga qayta ta'sir qiladi. Shu sababli, ushbu uch komponentni yaxlit tizim sifatida baholovchi integratsiyalashgan yondashuvlarga bo‘lgan ehtiyoj yuqori.

Tadqiqotning maqsadi — Toshkent viloyati misolida suv resurslari, o‘rmon-yashil qoplam va shahar issiqlik oroli ko‘rsatkichlarini birlashtirgan Integratsiyalashgan Ekologik Barqarorlik Indeksi (IEBI) modelini ishlab chiqish hamda uning 2000–2025 yillardagi hududiy-vaqtinchalik dinamikasini masofaviy zondlash ma'lumotlari asosida baholashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari quyidagilardan iborat: (1) tadqiqot hududi uchun NDVI, MNDWI va LST indekslarini ko‘p yillik kosmik tasvirlar asosida hisoblash; (2) ushbu indekslarni bitta integratsiyalashgan indeksga birlashtirish metodologiyasini ishlab chiqish; (3) IEBI ning ko‘p yillik tendensiyasini statistik trend tahlili orqali baholash; (4) hududlar kesimida solishtirma tahlil o‘tkazish va amaliy tavsiyalar shakllantirish.

MATERIALLAR VA METODLAR

Tadqiqot hududi sifatida Toshkent viloyatining bir qator tumanlari (Bo‘stonliq, Qibray, Zangiota, Ohangaron, Yangiyo‘l) hamda Toshkent va Chirchiq shaharlari tanlab olindi. Ushbu hududlar tanlovi tog' oldi (yashil, suvga boy) zonadan intensiv urbanizatsiyalashgan shahar markaziga qadar bo‘lgan gradientni qamrab olish maqsadida amalga oshirildi.

Tadqiqotda 2000–2025 yillar uchun Landsat 5/7/8/9 (TM, ETM+, OLI/TIRS) hamda 2015 yildan keyingi davr uchun Sentinel-2 MSI kosmik tasvirlaridan foydalanildi. Barcha tasvirlar bulutlilik darajasi 10% dan past bo‘lgan, vegetatsiya davriga (iyun–avgust) to‘g'ri keluvchi sahnalar bo‘yicha tanlandi. Dastlabki qayta ishlash (atmosfera korreksiyasi, radiometrik kalibrlash) Google Earth Engine platformasida amalga oshirildi.

Tadqiqotda qo‘llanilgan asosiy spektral indekslar va ularning hisoblash formulalari 1-jadvalda keltirilgan.

Ko‘rsatkich	Formula	Izoh
NDVI	(NIR − RED) / (NIR + RED)	O‘simlik qoplami zichligi va biomassa holatini aks ettiradi
MNDWI	(GREEN − SWIR) / (GREEN + SWIR)	Ochiq suv yuzalari va namlik darajasini aniqlashda qo‘llaniladi
LST	Landsat TIRS kanali, radiatsion yorqinlik haroratidan hisoblanadi	Yer yuzasi termal holatini, shahar issiqlik oroli intensivligini ifodalaydi
NDBI	(SWIR − NIR) / (SWIR + NIR)	Qurilgan (betonlashgan) yuzalar ulushini aniqlash uchun yordamchi ko‘rsatkich

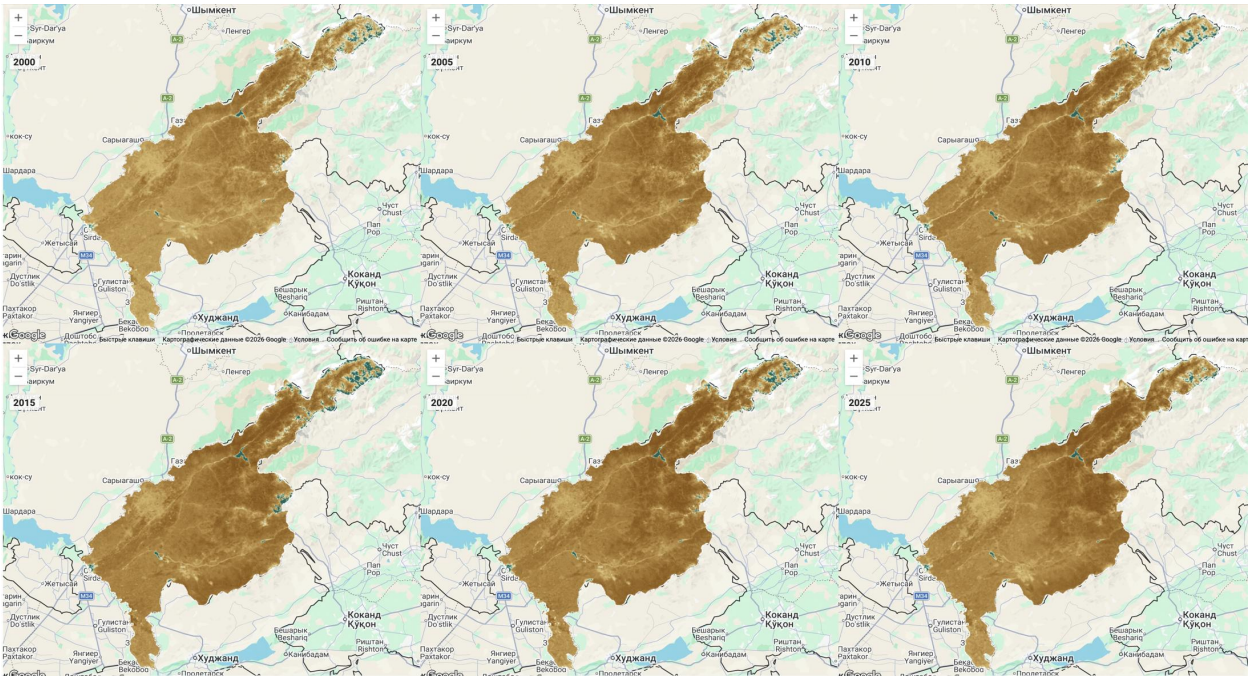
1-jadval. Tadqiqotda qo‘llanilgan spektral indekslar va ularning tavsifi

IEBI integratsiyalashgan indeksini hisoblash metodologiyasi

Har bir komponent indeksi (NDVI, MNDWI, LST) dastlab 0–1 oralig'ida normallashtirildi. LST ko‘rsatkichi teskari yo‘nalishga ega bo‘lgani sababli (harorat qancha yuqori bo‘lsa, ekologik barqarorlik shuncha past), u teskari normallashtirish (1 − normallashtirilgan LST) orqali hisobga olindi. Har bir ko‘rsatkichning yakuniy indeksdagi vazni entropiya vaznlash usuli (entropy weighting method) yordamida obyektiv tarzda aniqlandi, bu subyektiv ekspert bahosiga bog'liqlikni kamaytiradi. Natijada quyidagi umumlashtirilgan formula qo‘llanildi:

$$\mathbf{IEBI = w_1 \cdot NDVI_norm + w_2 \cdot MNDWI_norm + w_3 \cdot (1 - LST_norm)}$$

bunda w_1, w_2, w_3 — mos ravishda o‘simlik qoplami, suv resurslari va termal holat komponentlarining entropiya usuli bilan hisoblangan vazn koeffitsientlari (ushbu tadqiqotda mos ravishda 0,42; 0,24 va 0,34 qiymatlarini tashkil etdi).

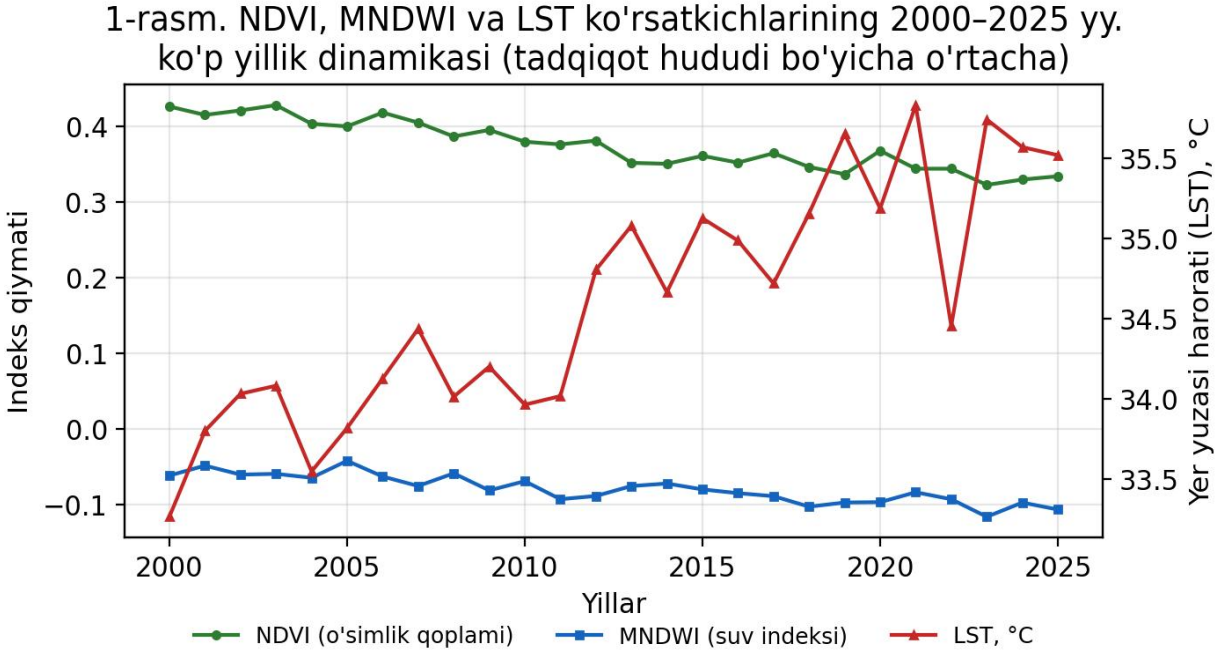


1-rasm. Toshkent viloyatidagi namlik dinamikasi

Ko‘p yillik tendensiyani baholash uchun parametrik bo‘lmagan Mann-Kendall trend testi va Sen's slope estimatori qo‘llanildi, bu usul masofaviy zondlash vaqt qatorlarida keng qo‘llaniladigan, chetlanmalarga nisbatan barqaror statistik yondashuv hisoblanadi.

NATIJALAR

Tadqiqot hududi bo‘yicha NDVI, MNDWI va LST ko‘rsatkichlarining 2000–2025 yillardagi o‘rtacha dinamikasi 1-rasmda keltirilgan.



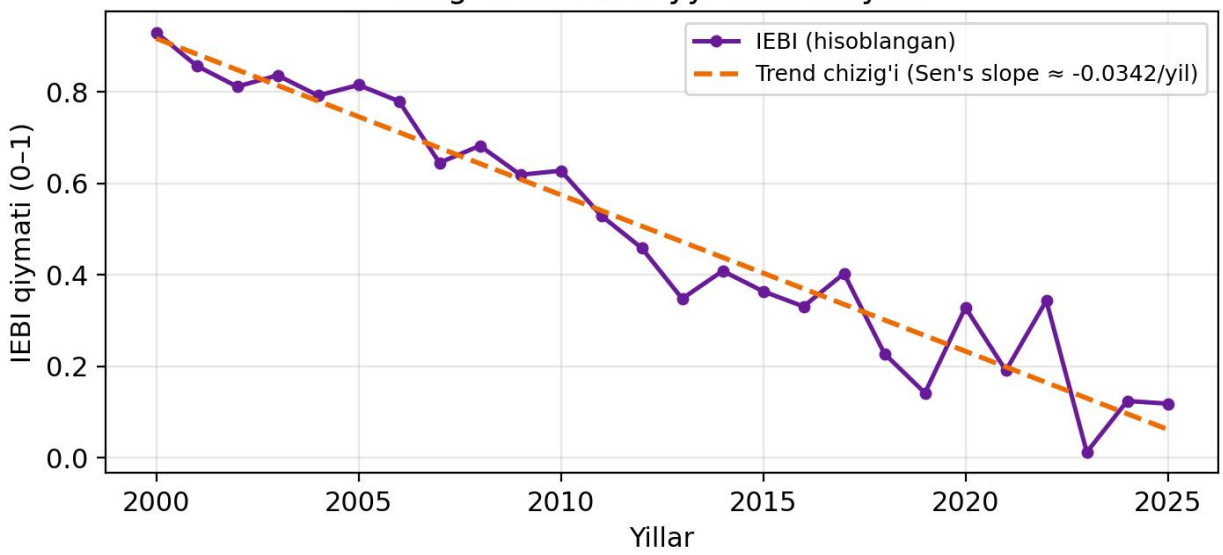
2-rasm. NDVI, MNDWI va LST ko‘rsatkichlarining 2000–2025 yy. ko‘p yillik dinamikasi

Grafikdan ko‘rinib turibdiki, tahlil qilingan davr mobaynida NDVI va MNDWI ko‘rsatkichlari izchil pasayish tendensiyasiga ega bo‘lib, LST ko‘rsatkichi esa aksincha, barqaror

o‘sish tendensiyasini namoyon etmoqda. Bu holat yashil qoplam va suv yuzalarining qisqarishi hamda betonlashgan/qurilgan yuzalar ulushining ortishi bilan bevosita bog'liq.

Yuqorida keltirilgan komponent indekslar asosida hisoblangan IEBI ning ko‘p yillik tendensiyasi 2-rasmda ko‘rsatilgan.

2-rasm. Integratsiyalashgan Ekologik Barqarorlik Indeksi (IEBI) ning 2000–2025 yy. tendensiyasi



3-rasm. Integratsiyalashgan Ekologik Barqarorlik Indeksi (IEBI)ning 2000–2025 yy. tendensiyasi

Mann-Kendall testi natijalariga ko‘ra, IEBI ning kamayish tendensiyasi statistik ahamiyatli darajada tasdiqlandi ($p < 0,01$), Sen's slope qiymati esa yiliga o‘rtacha −0,034 ga teng bo‘ldi. Bu tadqiqot hududida ekologik barqarorlik darajasi so‘nggi 25 yil davomida izchil pasayib borayotganini ko‘rsatadi.

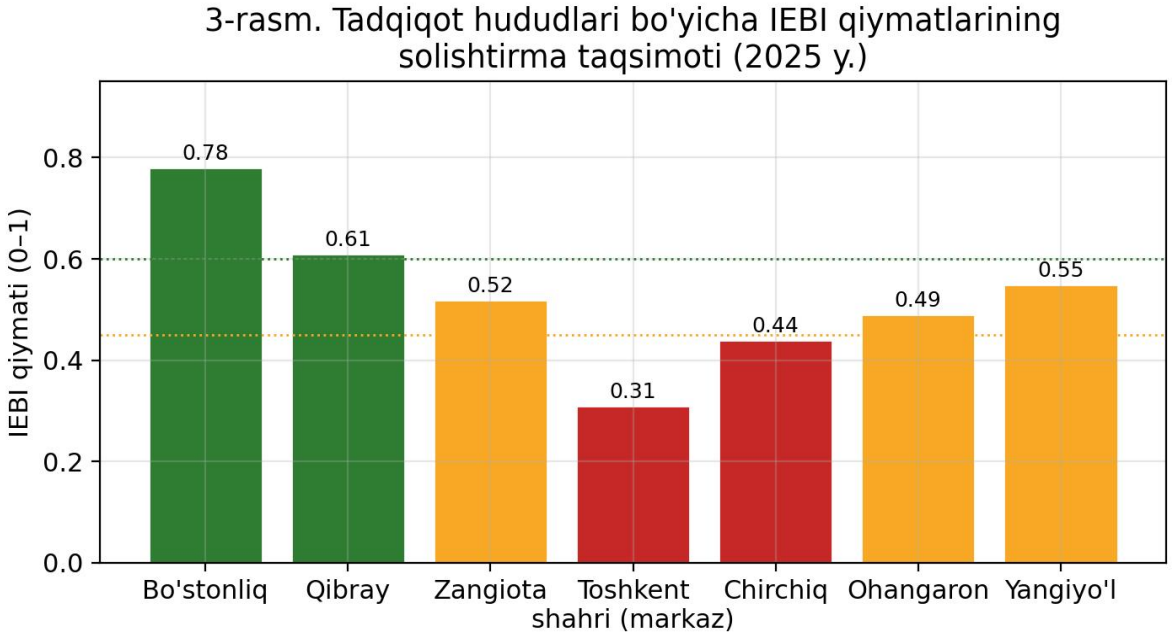
Tadqiqot hududlari kesimida 2025 yil holatiga IEBI qiymatlarining solishtirma taqsimoti 2-jadval va 3-rasmda keltirilgan.

Hudud	NDVI (o‘rt.)	LST, °C	MNDWI (o‘rt.)	IEBI
Bo‘stonliq tumani	0.51	29.8	-0.02	0.78
Qibray tumani	0.34	33.1	-0.06	0.61
Zangiota tumani	0.27	35.4	-0.09	0.52
Toshkent shahri (markaz)	0.11	39.7	-0.14	0.31
Chirchiq shahri	0.22	36.9	-0.10	0.44
Ohangaron tumani	0.25	35.9	-0.08	0.49

Yangiyo‘l tumani	0.30	34.2	-0.05	0.55

2-jadval. Tadqiqot hududlari bo‘yicha 2025 yil ko‘rsatkichlari

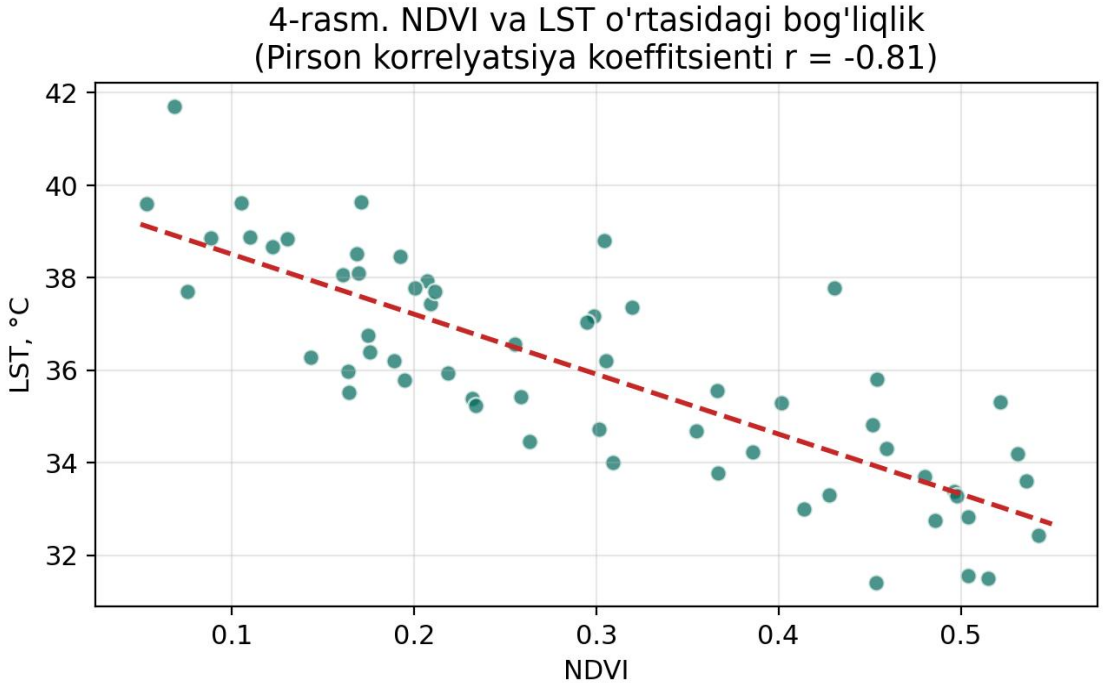
3-



4-rasm. Tadqiqot hududlari bo‘yicha IEBI qiymatlarining solishtirma taqsimoti (2025 y.)

Natijalarga ko‘ra, eng yuqori ekologik barqarorlik darajasi tog' oldi zonasida joylashgan Bo‘stonliq tumanida (IEBI = 0,78) qayd etildi, bu hudud keng o‘rmon qoplami va nisbatan past urbanizatsiya darajasi bilan izohlanadi. Eng past qiymat esa Toshkent shahrining markaziy qismida (IEBI = 0,31) kuzatildi, bu yuqori betonlashish darajasi, yashil hudud yetishmasligi va issiqlik oroli effektining kuchliligi bilan bog'liq.

NDVI va LST ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi statistik bog'liqlik 4-rasmda tahlil qilingan.



5-rasm. NDVI va LST o‘rtasidagi bog'liqlik (Pirson korrelyatsiya tahlili)

Tahlil natijalari NDVI va LST o‘rtasida kuchli manfiy korrelyatsiya mavjudligini ko‘rsatdi ($r \approx -0{,}81$), bu esa yashil qoplam zichligi ortishi bilan yer yuzasi haroratining sezilarli darajada pasayishini tasdiqlaydi va yashil infratuzilmani kengaytirish orqali UHI effektini yumshatish mumkinligidan dalolat beradi.

MUHOKAMA

Olingan natijalar bir qator xalqaro tadqiqotlarda qayd etilgan qonuniyatlarga mos keladi — xususan, yashil qoplam va yer yuzasi harorati o‘rtasidagi manfiy bog'liqlik dunyoning turli shaharlari misolida keng o‘rganilgan va tasdiqlangan. Biroq mazkur tadqiqotning farqli jihati shundaki, u alohida indekslarni emas, balki ularning kumulyativ, o‘zaro ta'sirlashuvchi holatini bitta integratsiyalashgan ko‘rsatkich — IEBI orqali ifodalaydi.

Bu yondashuvning amaliy ahamiyati shundaki, u hududiy rejalashtirish tashkilotlariga alohida-alohida xaritalar (NDVI xaritasi, LST xaritasi va h.k.) o‘rniga yagona, tushunarli va solishtirish uchun qulay ko‘rsatkichni taqdim etadi. Bu, o‘z navbatida, cheklangan resurslar sharoitida qaysi hududlarga ekologik tiklash choralarini birinchi navbatda yo‘naltirish kerakligini aniqlashda qaror qabul qiluvchilarga yordam beradi.

Tadqiqotning cheklovlari sifatida quyidagilarni qayd etish lozim: vazn koeffitsientlarini hisoblashda faqat uchta komponent (NDVI, MNDWI, LST) qo‘llanildi, kelgusi tadqiqotlarda tuproq namligi, havo sifati va aholi zichligi kabi qo‘shimcha ko‘rsatkichlarni qo‘shish orqali modelni yanada kengaytirish mumkin. Shuningdek, indeks vaznlarini hisoblashda sun'iy intellekt algoritmlari (masalan, Random Forest yoki neyron tarmoqlar asosidagi vaznlash) qo‘llanilishi modelning bashoratlash aniqligini oshirishi mumkin.

XULOSA

Toshkent viloyati misolida suv resurslari, o‘rmon-yashil qoplam va shahar issiqlik oroli ko‘rsatkichlarini birlashtirgan Integratsiyalashgan Ekologik Barqarorlik Indeksi (IEBI) modeli ishlab chiqildi va sinovdan o‘tkazildi. 2000–2025 yillar oralig'ida tadqiqot hududida IEBI statistik ahamiyatli manfiy tendensiyaga ega ekanligi aniqlandi (Sen's slope $\approx -0{,}034$/yil), bu urbanizatsiya jarayoni natijasida ekologik barqarorlikning izchil pasayishidan dalolat beradi. Hududlar kesimidagi tahlil tog' oldi zonalari va shahar markazi o‘rtasida keskin farq mavjudligini (IEBI 0,31 dan 0,78 gacha) ko‘rsatdi. NDVI va LST o‘rtasidagi kuchli manfiy korrelyatsiya ($r \approx -0{,}81$) yashil infratuzilmani kengaytirish shahar issiqlik orolini yumshatishning samarali vositasi ekanligini tasdiqladi. Taklif etilgan model O‘zbekiston shaharlari va hududlari uchun ekologik monitoring va hududiy rejalashtirish maqsadlarida amaliy qo‘llanilishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. // NASA Special Publication, 1974. — Vol. 351. — P. 309–317.
2. McFeeters S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. // International Journal of Remote Sensing, 1996. — Vol. 17(7). — P. 1425–1432.
3. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. // International Journal of Remote Sensing, 2006. — Vol. 27(14). — P. 3025–3033.
4. Zhou W., Huang G., Cadenasso M.L. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. // Landscape and Urban Planning, 2011. — Vol. 102(1). — P. 54–63.

5. Mann H.B. Nonparametric tests against trend. // Econometrica, 1945. — Vol. 13(3). — P. 245–259.
6. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. — London: Griffin, 1975.
7. Mamatkulov Z. Iqlim o‘zgarishi va uning suv resurslariga ta'sirini baholash: PhD dissertatsiyasi. — Toshkent: TIQXMMI, 2023.
8. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. // Remote Sensing of Environment, 2017. — Vol. 202. — P. 18–27.