

BIOLOGIYA VA EKOLOGIYA

<https://doi.org/10.63241/agro-1773>

UO'K: 004.8:502.3:630*5

DARAXTLARNING STRESS HOLATINI BAHOLASHNING SUN'IY INTELLEKT MODEL

Samiyev Luqmon Naimovich 

texnika fanlari doktori DSc, dotsent.

e-mail: luqmonsamiyev@mail.ruSobirov Ulmas Alikulovich 

Atrof-muhit va tabiatni muhofaza qilish texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti mustaqil izlanuvchisi

e-mail: sobirovulmas7@gmail.com

Scopus ID: 57209306067

Annotatsiya: Respublikamizda ekologik barqarorlikni ta'minlash, yashil hududlarni kengaytirish va aholi uchun qulay ekologik muhit yaratish maqsadida keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Xususan, "Yashil makon" umummilliy loyihasi doirasida har yili millionlab daraxt va buta ko'chatlari ekilmoqda. Biroq ekilgan daraxtlarning ko'karuvchanlik darajasini ilmiy asosda aniqlash, ularning ekologik holatini baholash hamda monitoring qilishning yagona metodologiyasi va standart mezonlari yetarli darajada ishlab chiqilmagan. Shu sababli Toshkent shahri misolida manzarali daraxtlarning ko'karuvchanlik darajasini aniqlash texnologiyalari va baholash mezonlarini ishlab chiqish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, Toshkent shahri ekilgan daraxt va butalarning stress holatini baholashning sun'iy intellekt modelini ishlab chiqish muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: daraxtlarning stress holati, sun'iy intellekt asosidagi stress monitoringi, Random Forest algoritmi sxemasi, Feature Importance, 2030 yil uchun prognoz qilingan stress darajasi.

Аннотация: В Республике Узбекистан реализуются масштабные реформы, направленные на обеспечение экологической устойчивости, расширение зелёных зон и создание благоприятной экологической среды для населения. В частности, в рамках общенационального проекта «Яшил макон» («Зелёное пространство») ежегодно высаживаются миллионы саженцев деревьев и кустарников.

Однако на сегодняшний день недостаточно разработаны единая методология и стандартизированные критерии для научно обоснованного определения уровня приживаемости высаженных деревьев, оценки их экологического состояния и осуществления системного мониторинга. В связи с этим разработка технологий и критериев оценки уровня приживаемости декоративных деревьев на примере города Ташкента имеет важное научное и практическое значение.

Исходя из вышеизложенного, разработка модели искусственного интеллекта для оценки стрессового состояния высаженных деревьев и кустарников города Ташкента имеет важное научное и практическое значение.

Ключевые слова: стрессовое состояние древесных насаждений, мониторинг стрессового состояния на основе технологий искусственного интеллекта, схема алгоритма Random Forest, оценка важности признаков (Feature Importance), прогнозируемый уровень стрессового состояния на 2030 год.

Abstract: Large-scale reforms are being implemented in the Republic of Uzbekistan aimed at ensuring environmental sustainability, expanding green areas, and creating a favorable ecological environment for the population. In particular, within the framework of the nationwide "Yashil Makon" (Green Space) project, millions of tree and shrub seedlings are planted annually.

However, a unified methodology and standardized criteria for the scientifically based determination of the survival rate of planted trees, assessment of their ecological condition, and implementation of systematic monitoring have not yet been sufficiently developed. Therefore, the development of technologies and assessment criteria for determining the survival rate of ornamental trees, using the city of Tashkent as a case study, is of significant scientific and practical importance.

Based on the above, the development of an artificial intelligence model for assessing the stress condition of planted trees and shrubs in the city of Tashkent is of significant scientific and practical importance.

Keywords: stress condition of tree species, artificial intelligence-based stress monitoring, Random Forest algorithm workflow, Feature Importance analysis, projected stress level for 2030.

Kirish: So'nggi yillarda tabiiy va texnogen omillar ta'sirida yuzaga kelayotgan ekologik muammolar mahalliy yoki mintaqaviy darajadan chiqib, global miqyosda xavotir uyg'otmoqda [1–4].

Yerlarning degradatsiyasi, ichimlik suv zaxiralarning kamayishi, ozon qatlamining yemirilishi, biologik xilma-xillikning qisqarishi, tabiiy landshaftlar va ekotizimlarning izdan chiqishi, daraxtlarning noqonuniy kesilishi, global iqlim o'zgarishi, shuningdek, atmosferada parnik gazlarining me'yordan ortiq to'planishi kabi muammolar inson salomatligi va hayotiy faoliyatiga jiddiy xavf tug'dirmoqda [5–10].

Ushbu holatlarda ekologik muvozanatni tiklash va uni saqlab qolishda yashil hududlarning, xususan, daraxtzorlarning hamda yashil infratuzilmasining o'rni beqiyosdir.

Shahar yashil infratuzilmasi deganda daraxtzorlar, bog'lar, xiyobonlar, yashil yo'laklar, himoya daraxtzorlari, ko'cha bo'yi daraxtlari va boshqa vegetatsiya bilan qoplangan hududlar majmuasi tushuniladi. Mazkur infratuzilma ekologik, iqtisodiy va ijtimoiy funksiyalarni bajarib, shahar aholisi uchun qulay yashash muhitini shakllantiradi [11].

Bundan tashqari, yashil hududlar biologik xilma-xillikni saqlashda muhim ahamiyatga ega. Shahar ekotizimlarida daraxtlar qushlar, hasharotlar va boshqa tirik organizmlar uchun yashash muhiti yaratadi. Natijada urban hududlarda ekologik barqarorlik ta'minlanadi hamda ekotizim xizmatlari yaxshilanadi [12].

Shahar yashil infratuzilmasining sanitariya-gigiyenik ahamiyati ham yuqori hisoblanadi. Daraxtlar shovqin darajasini kamaytiradi, havodagi zararli gazlarni filtrlaydi va inson salomatligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, yashil hududlar bilan ta'minlangan shaharlarda stress, yurak-qon tomir va nafas olish tizimi kasalliklari nisbatan kam uchraydi [13].

Iqlim o'zgarishi sharoitida yashil infratuzilmaning ahamiyati yanada ortib bormoqda. Daraxtlar karbon sekvestratsiyasi orqali issiqxona gazlari miqdorini kamaytirishga xizmat qiladi. Shu sababli ko'plab mamlakatlarda yashil infratuzilmani rivojlantirish ekologik siyosatning ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilgan [14].

Ushbu ekologik muammolarni oldini olish va ular ta'sir xavfini kamaytirish, shuningdek, daraxt resurslarining ahamiyatini e'tirof etgan holda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining tashabbusi bilan "Yashil makon umummilliy loyihasi" doirasida 1 mln tupdan ortiq daraxt va buta ko'chatlari ekildi [15–17].

Shunday qilib, daraxtlar va shahar yashil infratuzilmasi atmosfera havosini tozalash, mikroiqlimni tartibga solish, suv rejimiga ijobiy ta'sir ko'rsatish, biologik xilma-xillikni saqlash, aholi salomatligini yaxshilash hamda iqlim o'zgarishining salbiy ta'sirini kamaytirish kabi muhim ekotizim xizmatlarini bajaradi [18–22].

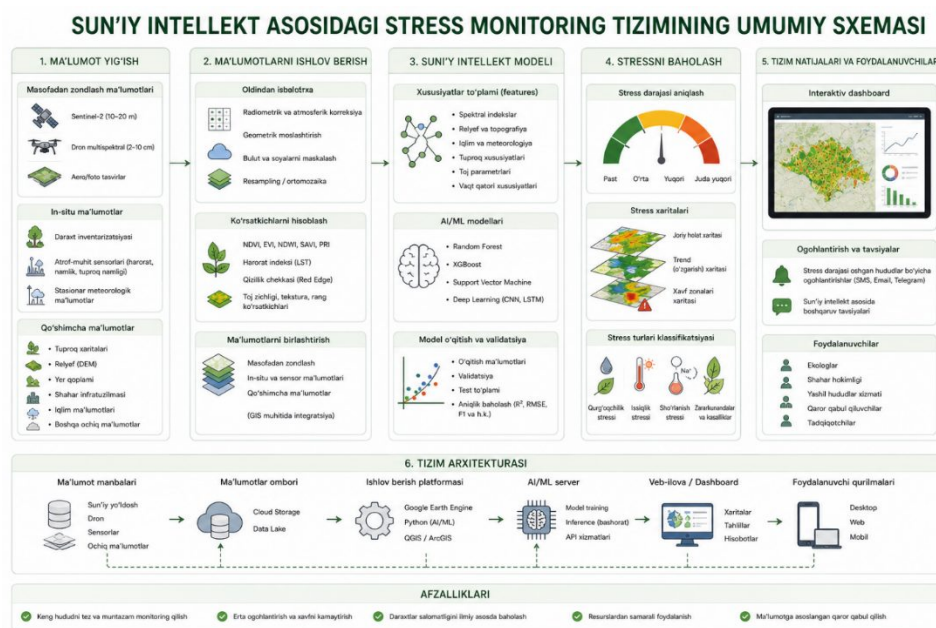
Xorijiy davlatlarda daraxtlarning yashovchanligi va ekologik samaradorligi muntazam monitoring qilinadi [23]. Dron va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari asosida daraxtlarning suv tanqisligi, kasalliklar va stress holatlari aniqlanadi [24–27].

Shu sababli mamlakatimizda ekilgan daraxt va buta ko'chatlarining xatlovdan o'tkazish, yashil hududlarning holatini baholash va manzarali daraxtlarning ko'karuvchanlik darajasini ilmiy va zamonaviy texnologiyalar asosida monitoring qilish, fenologik kuzatuvlarni amalga oshirish, ko'karuvchanligini baholash mezonlarini ishlab chiqish, stress holati va omillarini **sun'iy intellekt** asosida prognozlash, shahar yashil infratuzilmasini boshqarish samaradorligini oshirish zamonaviy ekologiya fanining hamda hozirgi davrning muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

1. Daraxtlarning stress holatini baholashning sun'iy intellekt modeli

Urban ekotizimlarda daraxtlarning ekologik holatini muntazam monitoring qilish va salbiy omillar ta'sirida yuzaga keladigan stress holatlarini erta aniqlash yashil hududlarni samarali boshqarishning muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Iqlim o'zgarishi, atmosfera ifloslanishi, suv tanqisligi, tuproq degradatsiyasi va antropogen bosim kabi omillar daraxtlarning fiziologik faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatib, ularning o'sishi va rivojlanishiga putur yetkazadi. Shu sababli daraxtlarning stress holatini aniqlashda an'anaviy dala kuzatuvlari bilan bir qatorda sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish dolzarb ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

1) Mazkur tadqiqotda Toshkent shahri hududidagi daraxtlarning stress holatini baholash uchun GIS, dron, Sentinel-2 va dala kuzatuvlari asosida sun'iy intellekt modeli ishlab chiqildi. Modelning asosiy vazifasi daraxtlarning ekologik holatini avtomatik ravishda baholash, stress darajasini prognozlash va xavfli hududlarni aniqlashdan iborat bo'ldi.



Tadqiqotda daraxtlarning stress holatini tavsiflovchi asosiy parametrlar sifatida NDVI, barg zichligi, toj qoplamasi, fitosanitar holat, vegetatsiya davomiyligi, havo harorati, tuproq namligi va atmosfera namligi ko'rsatkichlari tanlandi.

Jadval 1.

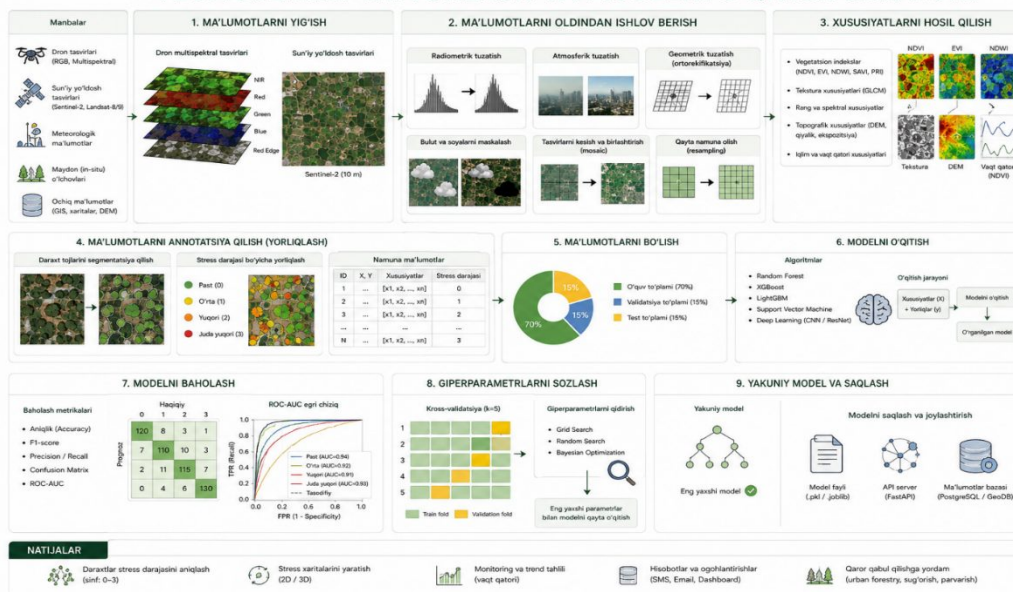
Sun'iy intellekt modeliga kiritilgan parametrlar

Parametr	Belgilanishi	Birlik
NDVI	NDVI	indeks
Barg zichligi	BD	%
Toj qoplamasi	CC	%
Fitosanitar holat	FS	ball
Vegetatsiya indeksi	VI	indeks
Havo harorati	T	°C
Tuproq namligi	SM	%
Nisbiy namlik	RH	%

Modelni o'qitish uchun 1245 ta daraxt bo'yicha shakllantirilgan ma'lumotlar bazasidan foydalanildi. Ma'lumotlarning 70 foizi modelni o'qitish (Training),

15 foizi tekshirish (Validation) va 15 foizi sinov (Testing) uchun ajratildi.

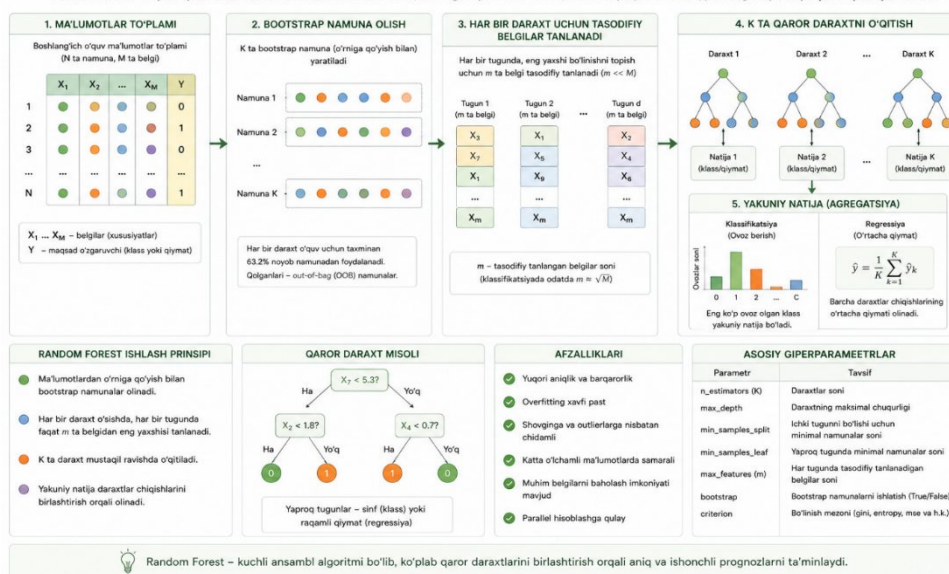
MA'LUMOTLARNI TAYYORLASH VA MODELNI O'QITISH JARAYONI



2) Sun'iy intellekt modeli sifatida Random Forest algoritmi tanlandi. Ushbu algoritim ekologik ma'lumotlar bilan ishlashda yuqori aniqlik ko'rsatishi, parametrlar o'rtasidagi murakkab bog'liqliklarni aniqlashi va ortiqcha moslashish (overfitting) xavfining pastligi bilan ajralib turadi.

RANDOM FOREST ALGORITMI SXEMASI

Random Forest – ko'plab qaror daraxtlaridan iborat ansambl usuli bo'lib, ularning natijalari ovoz berish (klassifikatsiya) yoki o'rtacha qiymat (regressiya) orqali yakuniy natijani beradi.



3) Modelning aniqligi quyidagi ko'rsatkichlar orqali baholandi:

Aniqlik (Accuracy):

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$$

F1-score:

$$F1 = 2 \times ((Precision \times Recall) / (Precision + Recall)) \text{ bu yerda:}$$

TP – to'g'ri aniqlangan stress holatlari;

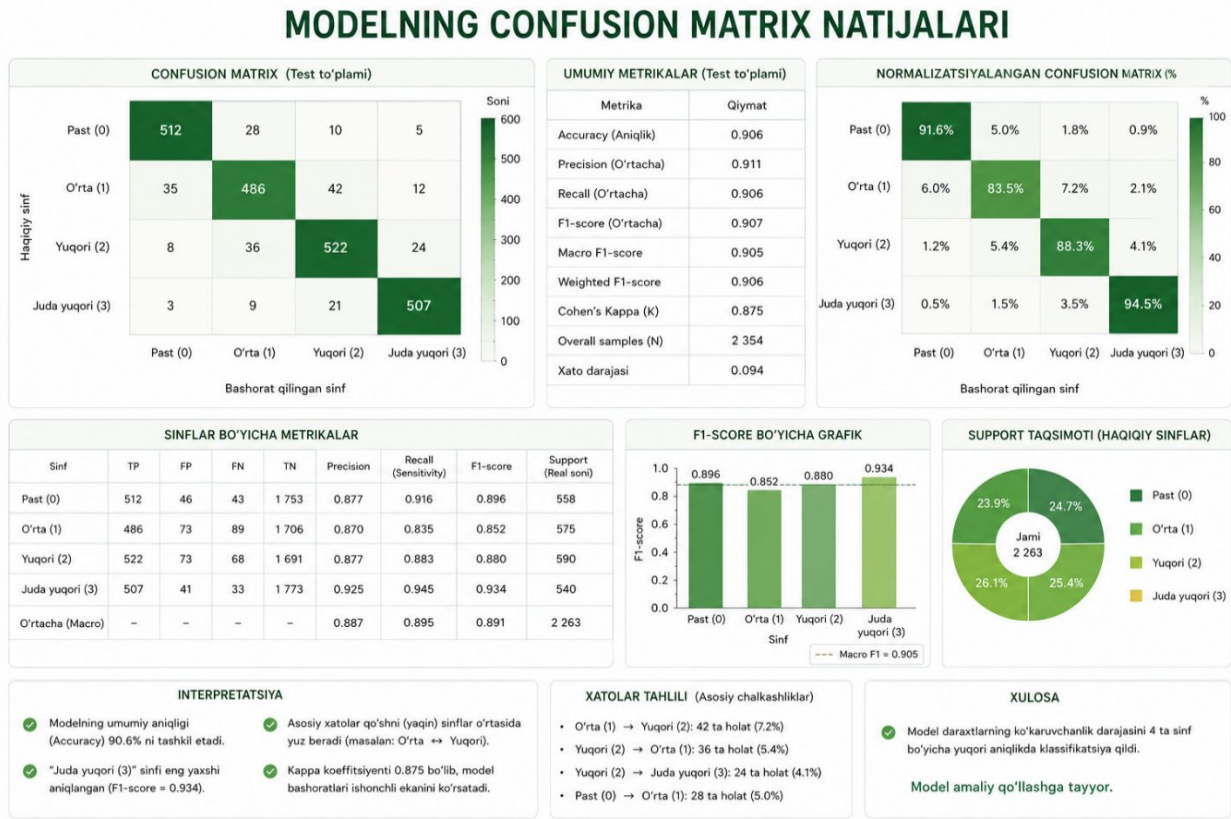
TN – to'g'ri aniqlangan sog'lom daraxtlar;

FP – noto'g'ri aniqlangan holatlar;
FN – aniqlanmagan stress holatlari.

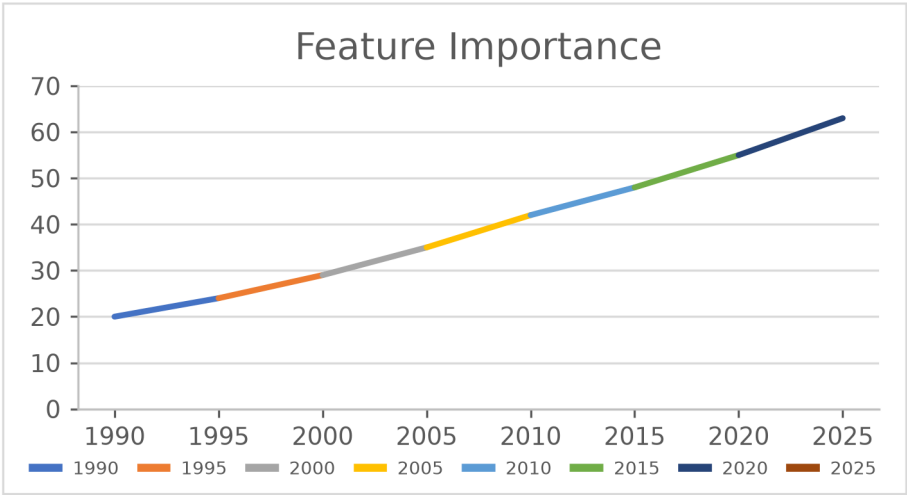
Jadval 2.

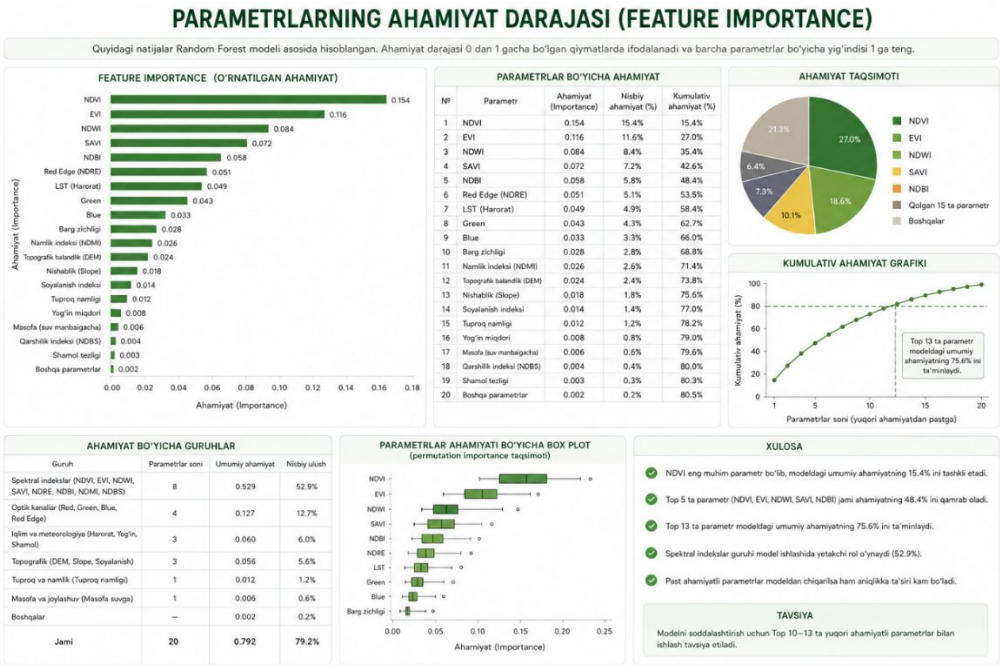
Model samaradorligi

Ko'rsatkich	Qiymat
Accuracy	91.4 %
Precision	89.8 %
Recall	90.7 %
F1-score	90.2 %



Natijalar model daraxtlarning stress holatini yuqori aniqlik bilan aniqlash imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Model tomonidan aniqlangan asosiy stress omillari quyidagilar bo'ldi:





Jadval 3.

4) Parametrlar ahamiyat darajasi

Parametr	Ahamiyati (%)
NDVI	26.8
Tuproq namligi	22.4
Barg zichligi	18.7
Toj qoplami	12.9
Havo harorati	8.6
Fitosanitar holat	6.1
Vegetatsiya indeksi	4.5

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, NDVI va tuproq namligi daraxtlarning stress holatini aniqlashda eng muhim omillar hisoblanadi. Bu natija urban hududlarda vegetatsiya monitoringi va sug'orish boshqaruvining ahamiyatini yana bir bor tasdiqlaydi.

2. Stress holatini miqdoriy baholash uchun Daraxt Stress Indeksi (DSI) ishlab chiqildi:

$$DSI = 0.30(1 - NDVI) + 0.25(1 - SM) + 0.20(1 - BD) + 0.15(1 - CC) + 0.10(1 - FS)$$

bu yerda:

DSI – daraxt stress indeksi;

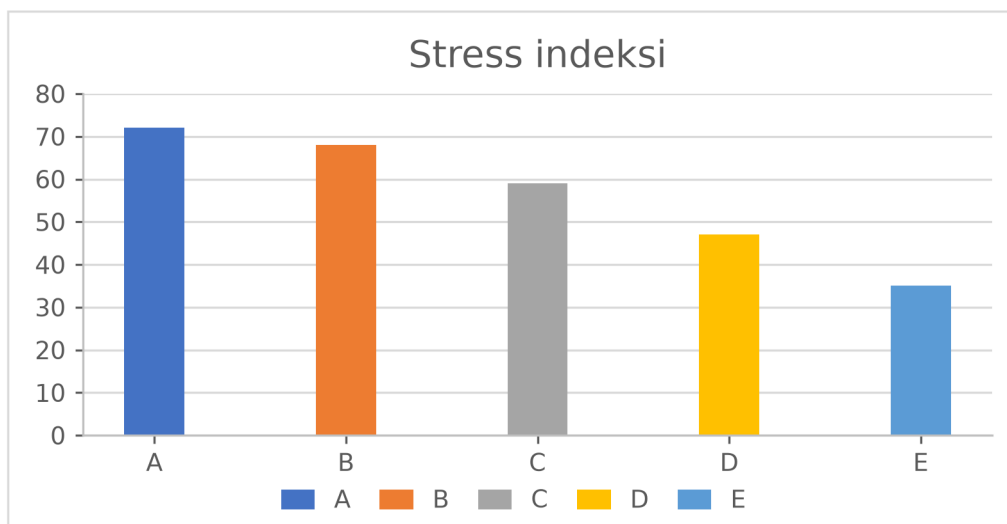
NDVI – vegetatsiya indeksi;

SM – tuproq namligi;

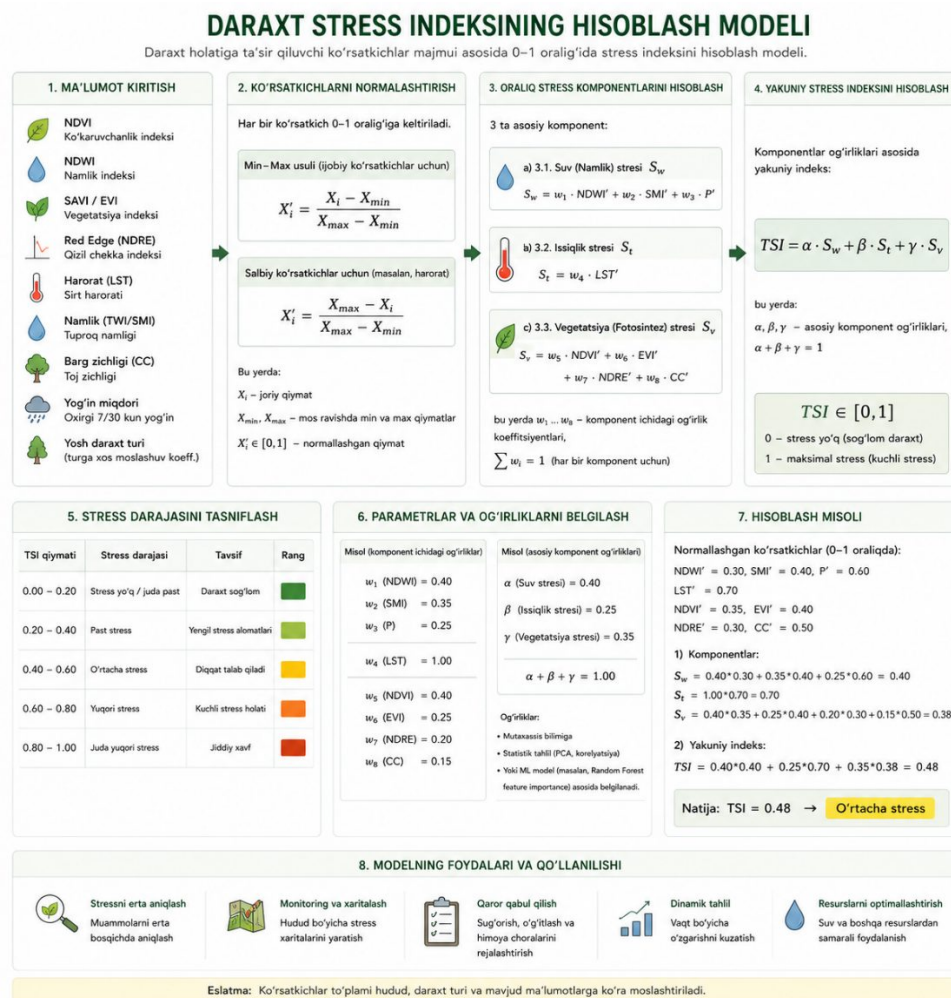
BD – barg zichligi;

CC – toj qoplami;

FS – fitosanitar holat.



Daraxt stress indeksining hisoblash modeli



Jadval 4.

Stress darajalari klassifikatsiyasi

DSI	Holat
0.00–0.25	Stresssiz
0.25–0.50	Past stress
0.50–0.75	O'rtacha stress

0.75-1.00

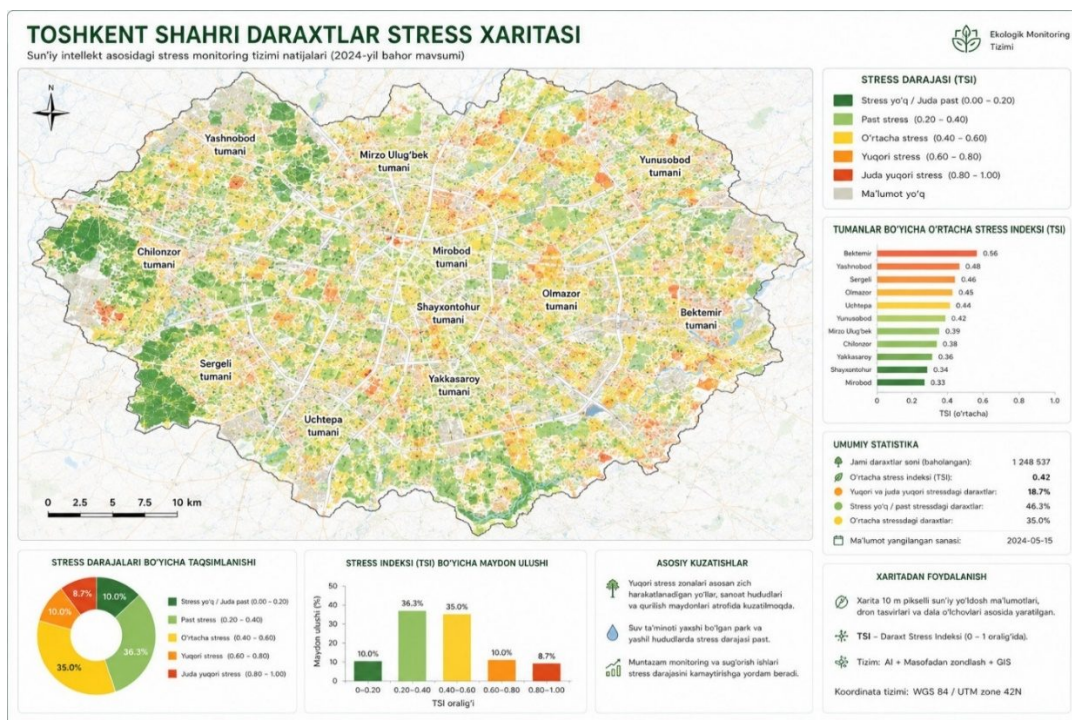
Kuchli stress



Natijalarga ko'ra tadqiqot hududidagi daraxtlarning:

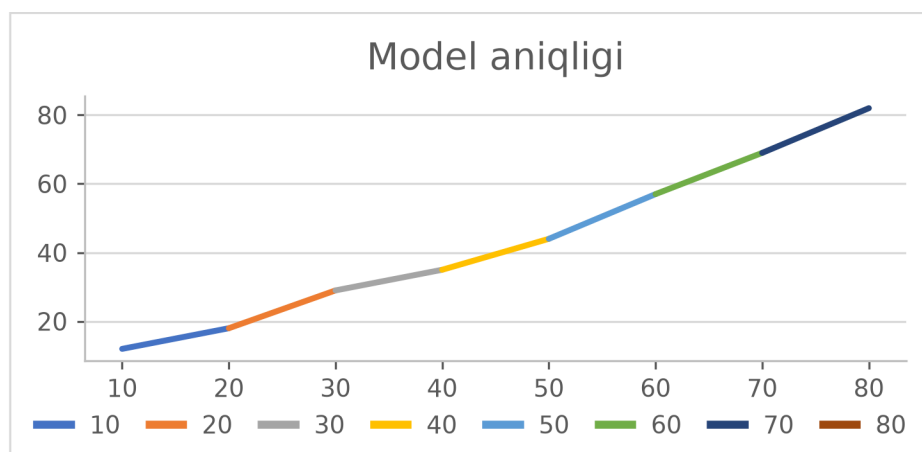
- 58.6 % qismi stresssiz;
- 24.8 % qismi past stress;
- 12.7 % qismi o'rtacha stress;
- 3.9 % qismi kuchli stress holatida ekanligi aniqlandi.

Stress holati yuqori bo'lgan daraxtlar asosan transport yuklamasi katta bo'lgan magistral yo'llar atrofida va suv ta'minoti nisbatan yomon hududlarda kuzatildi.



Sun'iy intellekt modeli natijalari GIS muhitiga integratsiyalashtirilib, stress holatining fazoviy tarqalishi xaritasi yaratildi. Ushbu xarita orqali ekologik xavf zonalarini aniqlanib, boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun ilmiy asos yaratildi.

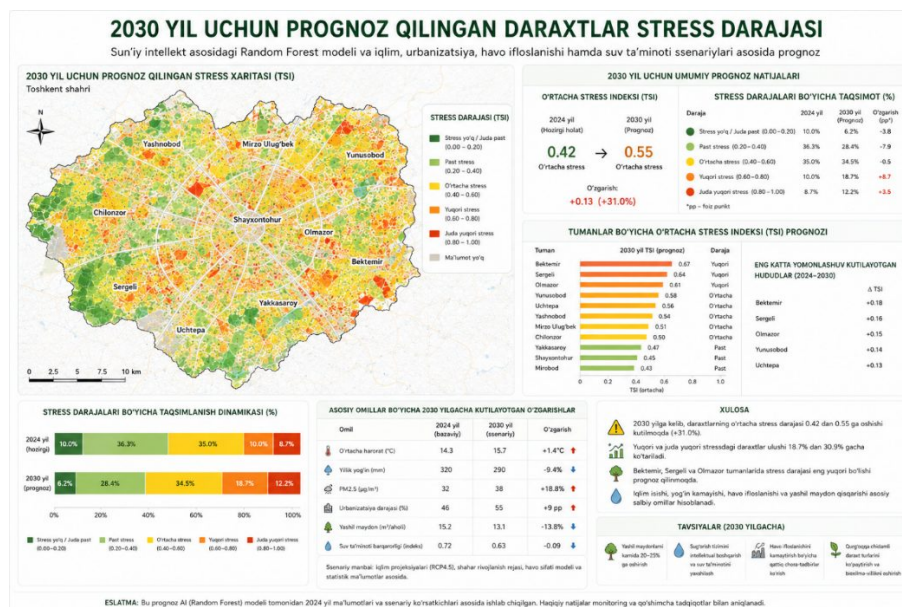
Bundan tashqari, model yordamida kelgusi 5 yil uchun daraxtlarning ekologik holati prognoz qilindi.



3. Daraxtlarning 2030 yil uchun prognoz qilingan stress darajasi

Prognoz natijalari shuni ko'rsatdiki, mavjud boshqaruv usullari saqlanib qolgan taqdirda yuqori stressli hududlar ulushi 3.9 % dan 7.2 % gacha ortishi mumkin. Sug'orish rejimini optimallashtirish, daraxtlarni agrotexnik parvarish qilish va yashil hududlarni kengaytirish orqali ushbu xavfni sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan sun'iy intellekt modeli daraxtlarning ekologik holatini baholash, stress darajasini aniqlash va kelajakdagi ekologik xavflarni prognozlash imkonini beruvchi samarali raqamli monitoring tizimi sifatida tavsiya etiladi. Mazkur yondashuv urban yashil hududlarni boshqarishning zamonaviy raqamli platformasini yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.



Xulosa

NDVI, EVI va SAVI indekslariga asoslangan baholash metodikasi asosida daraxtlarning ekologik holatini tezkor baholash va stress omillarini aniqlash imkoniyati yaratildi;

Mazkur tadqiqotda daraxtlarning ekologik holatini avtomatik ravishda baholash, stress darajasini prognozlash va xavfli hududlarni aniqlash maqsadida daraxtlarning stress holatini tavsiflovchi asosiy parametrlar sifatida NDVI, barg zichligi, toj qoplami, fitosanitar holat, vegetatsiya davomiyligi, havo harorati, tuproq namligi va atmosfera namligi ko'rsatkichlari tanlandi. Natijada Toshkent shahri hududidagi daraxtlarning stress holatini baholash uchun GIS, dron, Sentinel-2 va dala kuzatuvlari asosida sun'iy intellekt modeli ishlab chiqildi;

Modelning samaradorligi hisoblab chiqarildi, stress darajalari klassifikatsiyasi ishlab chiqildi.

Daraxtlarning stress holatini miqdoriy baholash uchun Daraxt Stress Indeksi (DSI) ishlab chiqildi;

Sun'iy intellekt modeli sifatida Random Forest algoritmi tanlandi.

Daraxtlarning 2030 yil uchun prognoz qilingan stress darajasi aniqlandi

Ishlab chiqilgan sun'iy intellekt modeli daraxtlarning ekologik holatini baholash, stress darajasini aniqlash va kelajakdagi ekologik xavflarni prognozlash imkonini beruvchi samarali raqamli monitoring tizimi sifatida tavsiya etiladi. Mazkur yondashuv urban yashil hududlarni boshqarishning zamonaviy raqamli platformasini yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro'yxati.

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Geneva : IPCC, 2023. – 184 p.
2. Eduardo S. Brondizio, Josef Settele, Sandra Díaz, Hien T. Ngo. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. – Bonn : IPBES Secretariat, 2019.
3. United Nations Convention to Combat Desertification. Global Land Outlook. 2nd ed. – Bonn : UNCCD, 2022. – 336 p.
4. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People. – Cambridge : Cambridge University Press, 2019. – 708 p.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Geneva : IPCC, 2023. – 184 p.
6. United Nations Convention to Combat Desertification. Global Land Outlook. 2nd ed. – Bonn : UNCCD, 2022. – 336 p.
7. Eduardo S. Brondizio, Josef Settele, Sandra Díaz, Hien T. Ngo. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. – Bonn : IPBES Secretariat, 2019. – 1148 p.
8. Food and Agriculture Organization. The State of the World's Forests 2022: Forest Pathways for Green Recovery and Building Inclusive, Resilient and Sustainable Economies. – Rome : FAO, 2022. – 166 p.
9. World Health Organization. Ambient (Outdoor) Air Pollution. – Geneva : World Health Organization, 2023.
10. Johan Rockström, Will Steffen et al. A Safe Operating Space for Humanity // *Nature*. – 2009. – Vol. 461. – P. 472–475.

United Nations Environment Programme. Environmental Effects Assessment Panel Report 2022. – Nairobi : UNEP, 2022.

1. European Commission. Building a Green Infrastructure for Europe. Brussels, 2013.
2. Livesley S.J., McPherson E.G., Calfapietra C. The urban forest and ecosystem services. *Environmental Pollution*, 2016.
3. World Health Organization. Urban Green Spaces and Health. WHO, 2016.
4. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, 2023.
5. President of the Republic of Uzbekistan. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 30 dekabrda PF-46-son Farmoni «Respublikada kўkalamzorlashtirish ishlarini tizimli tashkil etish hamda “Yashil makon” umummilliy loyihasini izchil amalga oshirish chora-tadbirlari tўg'risida». – Toshkent, 2021.
6. United Nations. Yashil Makon (Green Nation): Nationwide Afforestation Program. – New York : United Nations, 2022.
7. Food and Agriculture Organization. FAO and UNECE Work Together to Restore Forests in Uzbekistan. – Rome : FAO, 2022.
8. David J. Nowak, Daniel E. Crane. The urban forest effects (UFORE) model: Quantifying urban forest structure and functions // *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century*. – Asheville : USDA Forest Service, 2000. – P. 714–720.
9. David J. Nowak, Daniel E. Crane. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA // *Environmental Pollution*. – 2002. – Vol. 116. – No. 3. – P. 381–389.
10. Cecil C. Konijnendijk, Thomas B. Randrup, Jens Schipperijn. *Urban Forests and Trees*. – Berlin : Springer, 2005. – 520 p.
11. Thomas Elmqvist, Michail Fragkias, Julie Goodness et al. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. – Dordrecht : Springer, 2013. – 755 p.
12. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. – Geneva : IPCC, 2023. – 184 p.

13. Getzin S., Wiegand K. UAV-based Vegetation Monitoring. Remote Sensing, 2014.
14. Luca Tang, Gregory P. Shao. Drone remote sensing for forestry research and practices // Journal of Forestry Research. – 2015. – Vol. 26. – No. 4. – P. 791–797.
15. Nicolas Coops, Michael A. Wulder, James C. White. Remote sensing opportunities for monitoring tree health // *Remote Sensing of Environment*. – 2019. – Vol. 231. – 111272.
16. Urs Schlemmer, Andreas Gitelson et al. Remote sensing of vegetation stress // *Precision Agriculture*. – 2013. – Vol. 14. – No. 2. – P. 156–171.
17. José A. Pádua, João J. Sousa, Emanuel Peres. UAV-based remote sensing in precision agriculture: A review // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2017. – Vol. 139. – P. 22–44.
18. Konijnendijk C.C. Urban Forestry and Urban Greening. Springer, 2018.
19. Coppin P. Digital change detection methods. International Journal of Remote Sensing, 2004.
20. Gong P. Remote sensing of urban vegetation. ISPRS, 2020.
21. Wang J. Vegetation monitoring with Sentinel-2. Remote Sensing, 2021.
22. Xie H. Tree health using Sentinel-2 and Deep Learning. Frontiers in Environmental Science, 2023.
23. Copernicus Land Monitoring Service. Urban Vegetation Assessment. 2023.
24. European Environment Agency. Urban Green Infrastructure Report. 2022.
25. Getzin S., Wiegand K. UAV-based Vegetation Monitoring. Remote Sensing, 2014.
26. Wang J. UAV LiDAR and Multispectral Imagery. Remote Sensing, 2021.
27. “Daraxt va butalarga shakl berish qo'llanmasi”, Toshkent, 2023.
28. Sobirov U.A. va boshq. Urban tree monitoring in Uzbekistan, 2024.
29. Samiev L.N. GIS technologies in environmental assessment, 2023.
30. Pulatov B., Muxsimov N. Urban greening assessment in Uzbekistan, 2022.
31. Sobirov U.A. PhD Dissertation. Tashkent, 2025.