

EDITORIAL LEADERSHIP

Editor-in-Chief:

Rustam SHAMSHIDDINOV – DSc (Law), Professor

Deputy Editor:

Alokhon ALIKARIEVA – PhD (Sociology), Associate Professor, *National University of Uzbekistan*

Editorial Board:

Azamat AKHMEDOV – DSc (Technology), Associate Professor, *Tashkent State Technical University*

Behzod ABBASOV – PhD (History), Associate Professor, *Namangan State University*

Bekhzod ERNAZAROV – PhD (Sociology), Associate Professor, *Urgench State University*

Botirali VAKHOBOV – PhD (History), Associate Professor, *Namangan State University*

Botirjon MALLABAYEV – PhD (History), Associate Professor, *Namangan State University*

Damira MIRZAKHALILOVA – PhD (Economics), Associate Professor, *Tashkent Branch of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas*

Dilnoza KHAMDAMOVA – PhD (Technology), *Tashkent Institute of Chemical Technology*

Donokhon ACHILOVA – DSc (Medicine), Associate Professor, *Bukhara State Medical Institute*

Farkhod CHORSHANBIYEV – DSc (Agriculture), Associate Professor, *Tashkent State Agrarian University*

Farkhod IBRAGIMOV – DSc (Technology), Associate Professor, *Tashkent State University of Transport*

Jakhongir BOTIROV – PhD (Medicine), *Andijan State Medical Institute*

Javlon JURAYEV – PhD (Agriculture), Associate Professor, *Tashkent State Agrarian University*

Kamaldin YUNUSOV – DSc (Politics), Professor, *Andijan State University*

Laziz KHAYITOV – PhD (Medicine), *Samarkand State Medical Institute*

Marifjon AKHAMEDOV – PhD (Pedagogy), Associate Professor, *State Conservatory of Uzbekistan*

Mokhigul OTAMIRZAEVA – PhD (Geography), *University of Business and Science*

Mokhirakhon MUYDINOVA – PhD (Sociology), *Namangan State University*

Muyassar NAVRUZOVA – PhD (Philology), Associate Professor, *Bukhara State University*

Nigora ASHUROVA – PhD (Medicine), Associate Professor, *Bukhara State Medical Institute*

Nodirakhon NISHONOVA – PhD (Medicine), *Andijan State Medical Institute*

Olga KOMAROVA – Associate Professor, *Uzbekistan State Institute of Arts and Culture*

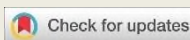
Sarvara BOBOKULOVA – PhD (Medicine), *Bukhara State Medical Institute*

Shakhnoza SADIKOVA – Associate Professor, *Tashkent State Technical University*

Sirojiddin SHIRMATOV – PhD (Pedagogy), Associate Professor, *Customs Institute of the State Customs Committee*

Umid MUKHITDINOV – PhD (Technology), Associate Professor, *Tashkent Institute of Chemical Technology*

Vasila UMAROVA – PhD in (Technology), Associate Professor, *Tashkent Institute of Chemical Technology*



METHODOLOGICAL APPROACHES TO TREE COVER DETECTION AND EVALUATION IN ARID LANDSCAPES

Gulayda Kuandikova¹, Temur Kuchkorov¹, Abror Mamataliyev².

¹ Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

² State University of New York at Binghamton.

 <https://doi.org/10.5281/zenodo.19643258>

Key words: desert ecosystems, UAV imagery, tree cover segmentation, Random Forest, U-Net, semantic segmentation, remote sensing, ecological monitoring.

ABSTRACT

This study addresses the problem of automatic tree cover segmentation in desert environments using high-resolution UAV imagery from the Suhaitu Gacha region (*Inner Mongolia, China*). Two modeling approaches—a statistical ensemble method (Random Forest, RF) and a deep learning-based semantic segmentation model (U-Net)—were comparatively evaluated. The experimental framework incorporated pixel-level classification accuracy, contour delineation quality, detection of small vegetation structures, and overall segmentation stability. Quantitative assessment was conducted using standard metrics, including mean Intersection over Union (mIoU) and the Kappa coefficient. The results demonstrate that the U-Net model consistently outperforms RF, particularly in complex desert landscapes characterized by low spectral contrast between vegetation and background. U-Net provides superior delineation of fine structures and improved segmentation coherence. However, RF exhibits advantages in computational efficiency, training speed, and robustness, confirming its suitability as a lightweight baseline model. These findings highlight the trade-offs between accuracy and efficiency and support the application of advanced computer vision models for ecological monitoring and desert vegetation analysis.

QURG‘OQCHIL LANDSHAFTLARDA DARAXT QOPLAMINI ANIQLASH VA BAHOLASHNING METODOLOGIK YONDASHUVLARI

Kalit so‘zlar: cho‘l ekotizimlari, UAV tasvirlari, daraxt qoplami segmentatsiya qilish, Random Forest, U-Net, semantik segmentatsiya, masofadan zondlash, ekologik monitoring.

ANNOTATSIYA

Mazkur tadqiqotda Suhaitu Gacha hududi (*Ichki Mongoliya, Xitoy*) dan olingan yuqori aniqlikdagi UAV tasvirlari asosida cho‘l sharoitida daraxt qoplami avtomatik segmentatsiya qilish muammosi tahlil qilinadi. Tadqiqot doirasida ikkita yondashuv – statistik ansambl modeli (Random Forest, RF) va chuqur o‘rganishga asoslangan semantik segmentatsiya modeli (U-Net) qiyosiy baholandi. Eksperimental tahlil piksel darajasidagi klassifikatsiya aniqligi, konturlarni ajratish sifati, kichik o‘lchamli o‘simlik obyektlarini aniqlash hamda umumiy segmentatsiya barqarorligi mezonlari asosida olib borildi. Miqdoriy baholash mIoU (mean Intersection over Union) va Kappa koeffitsienti yordamida amalga oshirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, U-Net modeli, ayniqsa fon va vegetatsiya ranglari o‘xshash bo‘lgan murakkab cho‘l landshaftlarida, RF modeliga nisbatan yuqori aniqlikni ta‘minlaydi. Shu bilan birga, RF modeli hisoblash samaradorligi, tez o‘qitilishi va barqarorligi bilan ajralib turib, yengil bazaviy model sifatida o‘z ahamiyatini saqlab qoladi. Olingan natijalar ekologik monitoring va cho‘l vegetatsiyasini tahlil qilishda zamonaviy kompyuter ko‘rish usullarini qo‘llash imkoniyatlarini kengaytiradi.

Cho‘l ekotizimlari global miqyosda eng mo‘rt tabiiy tizimlar qatoriga kiradi hamda antropogen bosim, iqlim o‘zgarishi, shamol eroziyasi va suv resurslarining keskin tanqisligi tufayli yuqori darajada degradatsiyaga moyildir [15, B.18]. Bunday hududlarda o‘simlik qoplami, xususan daraxt va butazorlar, ekotizim barqarorligining muhim indikatorlaridan biri hisoblanadi [5, B.127]. Ular shamol tezligini kamaytirish, qum ko‘chishini sekinlashtirish, tuproqni mustahkamlash hamda mahalliy mikroiklimni barqarorlashtirishda muhim funksional rol o‘ynaydi. Shu sababli cho‘l hududlarida daraxt qoplami aniqligi, zichligi va fazoviy taqsimotini muntazam monitoring qilish ekologik boshqaruv tizimining ajralmas komponentiga aylangan. An‘anaviy dala inventarizatsiyasi usullari katta vaqt va resurslarni talab qiladi, keng hududlarni tizimli ravishda qamrab olish imkoniyatini bermaydi, inson omiliga bog‘liq xatolarga moyil hamda fazoviy jihatdan cheklangan.

Masofadan zondlash texnologiyalarining, xususan yuqori aniqlikdagi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) tasvirlarining jadal rivojlanishi ushbu muammoni avtomatlashtirilgan, tezkor va yuqori aniqlikda hal etish imkonini yaratdi [6, B.2726; 13, B.1]. Biroq UAV tasvirlarining yuqori tafsilotliligi ularni qayta ishlashda murakkab semantik segmentatsiya metodlarini qo'llashni talab etadi [10, B.834]. Cho'l landshaftlariga xos omillar, jumladan qum strukturasi, soyalar, o'simlik tojlarining kichik o'lchamlari hamda fon ranglarining o'xshashligi klassik kompyuter ko'rish metodlarining barqarorligini sezilarli darajada pasaytiradi. Mazkur sabablar tufayli zamonaviy tadqiqotlarda cho'l o'simliklarini segmentatsiya qilishda chuqur o'rganishga asoslangan arxitekturalardan foydalanish kengaymoqda [7, B.166; 14, B.70]. Xususan, encoder–decoder tuzilmasiga ega bo'lgan U-Net turidagi neyron tarmoqlar murakkab fonli tasvirlarda ham yuqori aniqlikdagi segmentatsiyani ta'minlash qobiliyatiga ega. Shu bilan birga, chuqur o'rganish modellarining asosiy cheklovlari – yuqori hisoblash resurslariga ehtiyoj, arxitektura murakkabligi, giperparametrlarga sezgirlik hamda lokal sharoitlarda o'qitishning murakkabligi – ularning amaliy qo'llanilishini chegaralaydi. Shu nuqtai nazardan, yengil, interpretatsiyasi nisbatan sodda va kam resurs talab qiluvchi klassik yondashuvlar, xususan Random Forest (RF), hanuz dolzarb ilmiy va amaliy qiziqish uyg'otmoqda.

Ushbu tadqiqotning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, unda cho'l hududidagi yuqori aniqlikdagi UAV tasvirlari asosida modellashtirishning ikki konseptual yondashuvi qiyosiy tahlil qilinadi:

1. Statistik-ansambl modeli – Random Forest,
2. Chuqur o'rganishga asoslangan semantik segmentatsiya modeli – U-Net.

Adabiyotlar sharhi va ilmiy kontekst

O'simlik qoplamini masofadan zondlash asosida baholashga oid ilmiy tadqiqotlar so'nggi o'n yillikda sezilarli darajada kengaydi. Sun'iy yo'ldosh tasvirlari ko'plab ishlarda qo'llanilgan bo'lsa-da, ularning fazoviy aniqligi kichik o'lchamli daraxtlar, yosh ko'chatlar yoki alohida butazorlarni aniqlash uchun ko'pincha yetarli emas. UAV tasvirlarining asosiy afzalligi ularning santimetr darajasidagi aniqlikni ta'minlashi bo'lib, bu kichik tojli o'simliklarni aniq ajratish imkonini beradi.

Klassik tasvir klassifikatorlari (SVM, RF va boshqalar) yuqori aniqlikdagi tasvirlarda ma'lum darajada samaradorlik ko'rsatsa-da [8, B.492], ular asosan piksel darajasidagi statistik xususiyatlarga tayanadi va makoniy kontekstni yetarli darajada hisobga olmaydi. Natijada, rang kontrasti past bo'lgan cho'l landshaftlarida sezilarli klassifikatsiya xatolari yuzaga keladi. Ushbu cheklovlar chuqur o'rganish arxitekturalarini qo'llash zaruratini kuchaytiradi.

U-Net arxitekturasi dastlab biotibbiy tasvirlarni segmentatsiya qilish uchun taklif etilgan bo'lsa-da (Ronneberger va boshq., 2015), keyinchalik landshaft tahlili, o'rmon inventarizatsiyasi, qishloq xo'jaligi va gidrologiya kabi ko'plab sohalarda yuqori samaradorlikni namoyish etdi [4]. Modelning asosiy ustunliklari – skip-bog'lanishlar orqali yuqori aniqlikni saqlash, turli miqyosdagi xususiyatlarni integratsiya qilish hamda shovqinli fon sharoitlarida ham barqaror natijalar berish – uni cho'l landshaftlari uchun ayniqsa mos qiladi. Suhaitu Gacha hududi uchun yaqinda taklif etilgan GDPGO-SAM metodologiyasi (Hua va boshq., 2025) [2, B.691] chuqur foundation modellar asosida nol-na'muna (zero-shot) segmentatsiya imkoniyatlarini namoyish etdi. Biroq bunday yondashuvlar katta hajmdagi hisoblash resurslari, murakkab dasturiy infratuzilma va keng ko'lamlari texnik qo'llab-quvvatlashni talab qiladi. Shu bois amaliy tashkilotlar, ekologik monitoring markazlari va resurslari cheklangan muassasalar uchun yengil segmentatsiya metodlari hanuz muhim ahamiyat kasb etadi.

Mazkur ilmiy kontekst asosida tadqiqotning asosiy savoli quyidagicha shakllantiriladi: Cho'l hududlarida daraxt qoplamini avtomatik segmentatsiya qilishda statistik metodlar (RF) va chuqur o'rganishga asoslangan metodlar (U-Net) o'rtasidagi farqlar qanday namoyon bo'ladi va ularning amaliy qo'llanish chegaralari nimalardan iborat?

Tadqiqot hududi va ma'lumotlar

1. Tadqiqot hududi: Suhaitu Gacha

Suhaitu Gacha hududi Ichki Mongoliyaning Alxa League mintaqasida joylashgan bo'lib, cho'l iqlimining tipik xususiyatlarini aks ettiradi. Hududning ekologik ahamiyati uning shamol eroziyasi yuqori darajada namoyon bo'ladigan landshaftda joylashganligi bilan belgilanadi.

So‘nggi 20 yil davomida ushbu hududda qum ko‘chishini cheklash maqsadida keng ko‘lamli daraxt ekish kampaniyalari amalga oshirilgan. Mazkur plantatsiyalar odatda parallel qatorlar ko‘rinishida, nisbatan teng masofalarda joylashtirilgan bo‘lib, UAV tasvirlarida aniq vizual struktura hosil qiladi.

Shu bilan birga, hududning tabiiy sharoitlari – baland qumtepalar, o‘zgaruvchan shamol yo‘nalishlari, notekis relyef hamda vegetatsiyaning fragmentatsiyalashgan fazoviy taqsimoti – segmentatsiya jarayonini sezilarli darajada murakkablashtiradi.



Rasm 1. Suhaitu Gacha hududining UAV ortomosaik namunasi.

Rasm 1 hududning yuqori aniqlikdagi vizual strukturasini, daraxt qatorlari hamda tabiiy o‘simlik klasterlari o‘rtasidagi farqlarni aks ettiradi.

Mazkur hudud segmentatsiya modellarini baholash uchun quyidagi sabablarga ko‘ra ideal sinov maydoni hisoblanadi:

daraxt qoplaminin notekis va fragmentatsiyalashgan tuzilishi segmentatsiya modelining barqarorligini sinovdan o‘tkazadi;

sun‘iy va tabiiy vegetatsiyaning aralash tarkibi modelning kontekstual o‘rganish qobiliyatini baholash imkonini beradi;

qum fonining rang jihatidan o‘xshashligi Random Forest kabi piksel darajasidagi klassifikatorlar uchun sezilarli murakkablik tug‘diradi;

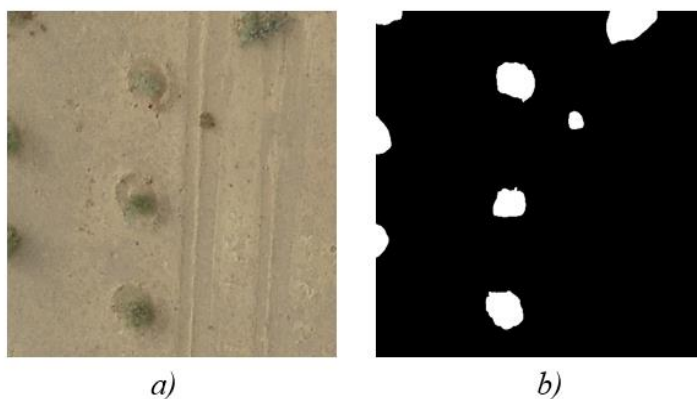
kichik o‘lchamli tojlarga ega o‘simliklar U-Net modelining yuqori rezolyutsiyali segmentatsiya afzalliklarini tekshirish imkonini beradi.

2. Ma‘lumotlar to‘plami va uning ahamiyati

Tadqiqotda qo‘llanilgan dataset yuqori aniqlikdagi UAV tasvirlaridan tashkil topgan bo‘lib, undagi har bir tasvir 256×256 pikseli patchlarga ajratilgan. Segmentatsiya vazifasi uchun har bir tasvirga mos ground truth maskalari shakllantirilgan. Mazkur datasetning ilmiy va amaliy ahamiyati quyidagilar bilan izohlanadi:

- u kichik o‘lchamli vegetatsiya obyektlarini aniqlash imkonini beradi;
- maskalarning aniqligi sababli model natijalarini qat‘iy va ishonchli baholash mumkin;
- ma‘lumotlar cho‘l landshaftining real murakkabligini yetarli darajada aks ettiradi.

Keyingi parchani ham shu usulda tahrir qilib beraman.



Rasm 2. Datasetdan olingan tasvir (a) va uning ground truth maskasi (b).

Rasm 2 tasvir va maska o‘rtasidagi semantik moslikni, daraxt tojlari konturlarini hamda fon strukturaviy xususiyatlarini aks ettiradi.

Metodologiya va nazariy asoslar

Cho‘l hududlarida daraxt qoplamin segmentatsiya qilish vazifasi ikki turdagi yondashuv – statistik ansambl klassifikatorlari (Random Forest) va chuqur o‘rganishga asoslangan semantik segmentatsiya modellari (U-Net) – samaradorligini qiyosiy baholash imkonini beradi. Ushbu bo‘limda har ikki modelning nazariy asoslari, ishlash prinsiplari, cho‘l landshaftlariga moslashuvchanligi hamda ularning asosiy cheklovlari tahlil qilinadi.

1. Random Forest: statistik ansambl metodining ilmiy talqini

Random Forest (RF) ko'plab qaror daraxtlaridan tashkil topgan ansambl modellari sinfiga mansub bo'lib, Breiman tomonidan taklif etilgan [3, B.5]. Mazkur yondashuv mustaqil o'qitilgan daraxtlarning kollektiv qaroriga asoslanadi. Har bir daraxt tasodifiy tanlangan xususiyatlar va piksel namunalarida o'qitiladi, bu esa modelning diversifikatsiyasini oshiradi hamda overfitting ehtimolini kamaytiradi.

Nazariy jihatdan RF quyidagi xususiyatlarga ega:

- individual daraxtlar yuqori biasga ega bo'lsa-da, ansambl orqali umumiy model past bias va past variance holatiga yaqinlashadi;
- cho'l landshaftlarida piksel ranglarining o'xshashligi sababli RFning asosiy tayanchi bo'lgan R, G, B xususiyatlari ayrim holatlarda yetarli diskriminativ kuch bermaydi;
- RF fazoviy kontekstni modellashtirmaydi, bu esa cho'l tasvirlarida muhim kamchilik hisoblanadi, chunki daraxtlar ko'pincha strukturaviy shaklda, masalan, parallel qatorlar tarzida joylashadi.

Shunga qaramay, RF ekologik monitoring tizimlari uchun muhim yondashuv bo'lib qolmoqda [12, B.2411], chunki u:

1. yuqori tezlikda o'qitiladi;
2. GPU resurslarini talab qilmaydi;
3. interpretatsiya qilish va diagnostika qilish jihatidan qulay;
4. kichik hajmdagi datasetlarda ham barqaror natijalar beradi.

4.2. U-Net: encoder–decoder arxitekturasi chuqur o'rganish asoslari

U-Net (Ronneberger va boshq., 2015) semantik segmentatsiya vazifalari uchun ishlab chiqilgan samarali arxitekturalardan biridir [4, B.107]. Modelning asosiy xususiyati encoder va decoder bloklari o'rtasidagi skip-bog'lanishlar bo'lib, ular yuqori aniqlikdagi xususiyatlarni past rezolyutsiyali kontekstual ma'lumotlar bilan integratsiya qiladi.

U-Netning asosiy ustunliklari quyidagilardan iborat:

1. Ko'p miqyosli o'rganish. Encoder global kontekstni o'rganadi, decoder esa fazoviy aniqlikni tiklaydi, bu esa kichik o'lchamli obyektlar bilan ishlashda muhimdir.
2. Skip-bog'lanishlar orqali aniqlikni saqlash. O'simlik konturlarining nozik tuzilmalari yo'qolmaydi.
3. Shovqin va rang o'xshashligiga chidamlilik. Konvolyutsion filtrlar orqali makoniy strukturalarni o'rganish RFga nisbatan ustunlik beradi.
4. Generalizatsiya qobiliyati. Data augmentatsiya orqali turli sharoitlarda barqaror natijalar ta'minlanadi.

U-Netning asosiy cheklovlari:

- yuqori hisoblash resurslarini talab qilishi;
- trening jarayonining nisbatan uzoq davom etishi;
- giperparametrlarga sezgirligi;
- interpretatsiya qilishning murakkabligi.

3. RF va U-Netning qiyosiy tahlili

Ushbu tadqiqotning ilmiy ahamiyati quyidagi asosiy jihatlar orqali asoslanadi:

Kontekstga tayanish darajasi

- RF lokal piksel xususiyatlariga asoslanadi;
- U-Net esa makoniy struktura, kontekst va fazoviy naqshlarni o'rganadi.

Cho'l landshaftlarining murakkabligi. Fon (qum, tuproq, relyef) va vegetatsiya o'rtasidagi past kontrast RF uchun sezilarli muammo tug'diradi, U-Net esa konvolyutsion xususiyatlar orqali semantik naqshlarni aniqlashga qodir.

Kichik obyektlarga sezgirlik. U-Net kichik o'lchamli tojlarga nisbatan yuqori sezgirlikka ega, RF esa shovqinlarni noto'g'ri klassifikatsiya qilishi mumkin.

Ekologik interpretatsiya imkoniyati

RF natijalari nisbatan sodda talqin qilinadi, U-Net esa murakkabroq, biroq chuqurroq ekologik tushunchalarni aks ettiradi (masalan, ko'chat qatorlari yoki zichlik zonalari).

4. Konfiguratsiya va apparat muhiti

Eksperimentlar quyidagi apparat konfiguratsiyasida amalga oshirildi:

- CPU: AMD Ryzen 7 7700X (8 yadro, 16 oqim);
- GPU: NVIDIA RTX 3060 (12 GB VRAM);
- RAM: 32 GB DDR5;
- Operatsion tizim: Linux (Ubuntu), Python 3.8+ va PyTorch 2.0+ muhitida.

60 epochdan iborat U-Net treningi ushbu konfiguratsiyada o'rtacha 30–35 daqiqa davom etadi. Umumiy hisobda 11 ta eksperiment bajarilib, jami taxminan 6 soat trening vaqti sarflangan. RF modeli esa har bir ishga tushirish uchun bir necha daqiqa ichida o'qitilgan. RF giperparametrlari (RF_MAX_PIXELS, RF_N_EST, RF_MAX_DEPTH, RF_MIN_SAMPLES) hamda U-Net giperparametrlari (EPOCHS, BATCH_SIZE) muhit o'zgaruvchilari orqali moslashtirilgan.

Eksperimental dizayn va baholash mezonlari

Ushbu bo'limda modellarni ilmiy asosda baholash metodologiyasi bayon etiladi.

1. Eksperiment strukturasi

Eksperimentlar yagona dataset bo'linishi (train–validation–test) asosida o'tkazildi, bu esa modellarni bir xil sharoitda qiyoslash imkonini beradi va ilmiy xolislikni ta'minlaydi.

Eksperimentlar quyidagi tamoyillarga asoslangan:

1. Reproducibility (takrorlanuvchanlik). Barcha jarayonlar qat'iy belgilangan protokollarga asoslanadi.
2. Fair comparison (adolatli taqqoslash). Har ikki model bir xil test to'plamida baholangan.
3. Ecological relevance (ekologik ahamiyat). Tanlangan metrikalar ekologik interpretatsiyani ta'minlaydi.

5.2. Baholash mezonlari

Tadqiqotda segmentatsiya sifatini baholash uchun uch asosiy metrika qo'llanilgan:

1. Overall Accuracy (OA). Umumiy to'g'ri klassifikatsiya qilingan piksel ulushini ifodalaydi. Biroq fon ulushi katta bo'lgan hollarda bu mezon natijani noto'g'ri yuqori baholashi mumkin.
2. Mean Intersection over Union (mIoU). Bu metrika haqiqiy va bashorat qilingan segmentlar o'rtasidagi moslik darajasini ko'rsatadi hamda segmentatsiya sifatini baholashda eng ishonchli ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi.

$$J(A, B) = \frac{A \cap B}{A \cup B}$$

Formula 1. IoU formulasi.

3. Kappa koeffitsienti. Kappa koeffitsienti tasniflashning tasodifiy mos kelish ehtimolini hisobga oladi. Cho'l hududlarida fon sinfi ustun bo'lgani sababli ushbu ko'rsatkich alohida ahamiyat kasb etadi. U-Net modelining Kappa bo'yicha ustunligi uning haqiqiy vegetatsiya obyektlarini aniqlash qobiliyati yuqoriligini ko'rsatadi.

3. Sifatli (qualitative) tahlil tamoyillari

Ilmiy tadqiqotlarda faqat miqdoriy natijalarga tayanish segmentatsiya sifatini to'liq baholash imkonini bermaydi, ayniqsa cho'l kabi murakkab landshaftlarda. Shu bois model natijalari vizual ekspertiza asosida ham tahlil qilindi. Mazkur baholash quyidagi ilmiy mezonlarga tayandi:

- daraxt konturlarining silliqiligi;
- soyalar ostidagi vegetatsiyani aniqlash darajasi;
- qatorsimon strukturalarning tiklanish aniqligi;
- fon bilan vizual jihatdan o'xshash maydonlarda modelning barqarorligi.

Natijalar

Ushbu bo'limda Random Forest (RF) va U-Net modellarining eksperimental natijalari taqdim etiladi. Natijalar miqdoriy (quantitative) va sifatli (qualitative) shakllarda baholangan bo'lib, har bir ko'rsatkichning ilmiy hamda ekologik talqini batafsil yoritiladi.

1. Miqdoriy natijalar

Jadval 1 segmentatsiya vazifasi bo'yicha modellarni uchta asosiy mezon asosida qiyoslash imkonini beradi. Xususan, mIoU va Kappa ko'rsatkichlari real ekologik monitoring tizimlari uchun eng ishonchli indikatorlar hisoblanadi.

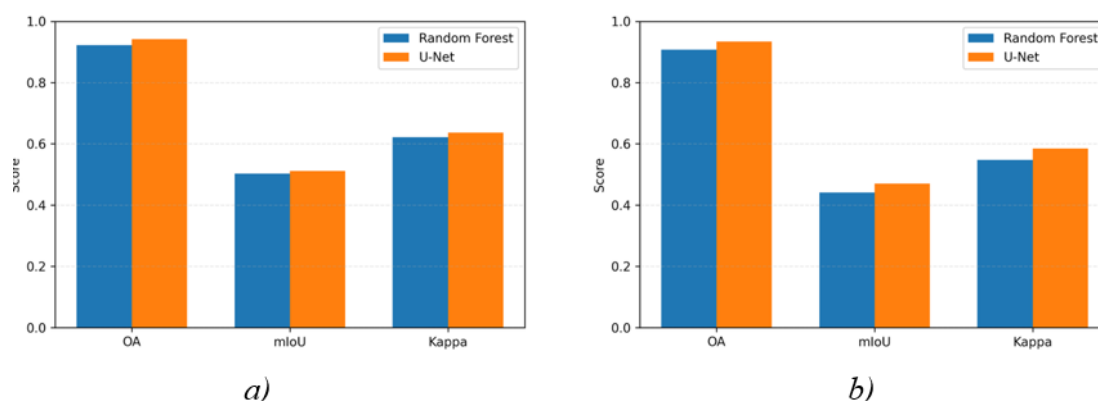
Jadval 1

Model ko'rsatkichlari

Model	To'plam	OA (%)	mIoU (%)	Kappa (%)
Random Forest	Validation	92.23	50.28	62.16
Random Forest	Test	90.74	44.09	54.78
U-Net	Validation	94.21	51.16	63.65
U-Net	Test	93.36	47.02	58.46

Ko'rinib turibdiki, U-Net modeli ham validation, ham test to'plamlarida Random Forestga nisbatan biroz yuqori natijalarga erishgan. Bu ustunlik, ayniqsa, Kappa koeffitsienti (taxminan 3,5–4 punktga yuqori) va mIoU ko'rsatkichi (taxminan 3 punktga yuqori) bo'yicha yaqqol namoyon bo'ladi. Shu bilan birga, RF baseline modelining test to'plamidagi mIoU qiymati taxminan 44 % atrofida barqaror saqlanib, turli giperparametr konfiguratsiyalarida tebranish amplitudasi ± 1 % dan oshmagan.

Rasm 3 da modellar bo'yicha baholash metrikalarining qiyosiy diagrammasi keltirilgan.



Rasm 3. Validation (a) va test (b) to'plamida RF va U-Net uchun OA, mIoU, Kappa taqqoslovchi bar chart

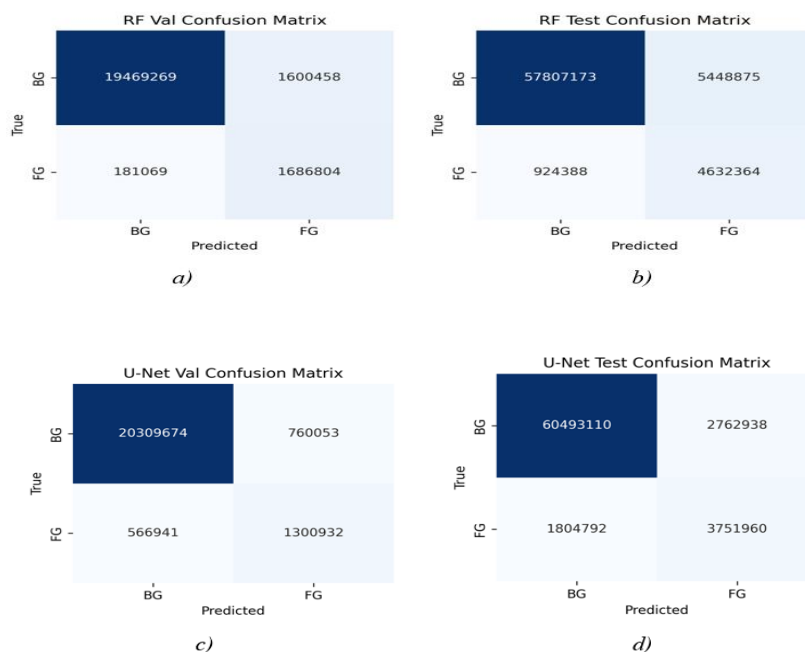
Mazkur grafiklar U-Net modelining barcha uchta baholash mezoni bo'yicha nisbatan yuqori natijalarga ega ekanligini yaqqol ko'rsatadi; ayniqsa Kappa va mIoU ko'rsatkichlaridagi ustunlik aniq ifodalangan.

2. Confusion matrix natijalari

Confusion matrix modellar tomonidan yuzaga keladigan xatolar turini tahlil qilishda muhim vosita hisoblanadi. U orqali klassifikatsiya natijalarining strukturasi va xatolar taqsimoti chuqurroq o'rganiladi.

Olingan confusion matrixlar quyidagi xulosalarni beradi:

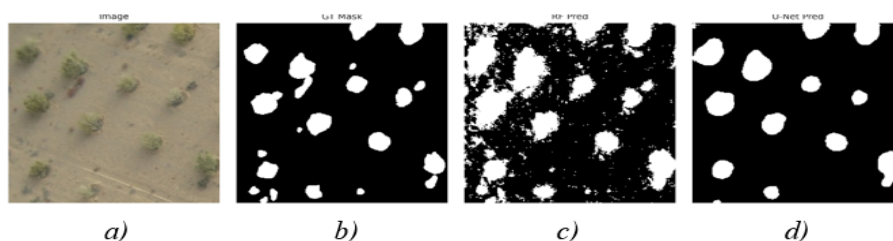
- Random Forest modelida asosan ikki turdagi xatolar ustunlik qiladi: vegetatsiyani fon sifatida noto'g'ri klassifikatsiya qilish (false negative, FN) hamda fonni vegetatsiya sifatida noto'g'ri belgilash (false positive, FP);
- U-Net modelida ham shunga o'xshash xatolar kuzatiladi, biroq vegetatsiya sinfi bo'yicha to'g'ri aniqlangan pozitivlar soni sezilarli darajada yuqori. Bu esa mIoU va Kappa ko'rsatkichlarining yaxshilanishida o'z aksini topadi.



Rasm 4. RF va U-Net uchun validation va test to'plamlar uchun confusion matrixlar.

3. Sifatli (qualitative) natijalar

Segmentatsiya sifatini faqat sonli ko'rsatkichlar orqali baholash yetarli emas, ayniqsa cho'l landshaftlarida fon va o'simlik o'xshash bo'lganda. Shuning uchun sifatli tahlil ham olib borildi.



Rasm 5. Asl UAV (a), ground truth mask (b), Random Forest (c) va U-Net (d) bashorati tasvirlari

Mazkur tasvirlar asosida quyidagi ilmiy kuzatuvlarni qayd etish mumkin:

Random Forest ayrim sahnalarda segmentatsiyani "yirik bloklar" ko'rinishida amalga oshiradi, bunda konturlar notekis shaklga ega bo'ladi hamda kichik o'lchamli yoki noaniq tojli daraxtlar ba'zan butunlay aniqlanmay qoladi;

U-Net modeli kichik va soyada qolgan tojlarga nisbatan yuqori sezgirlikni namoyon etib, daraxt qatorlari strukturaviy yaxlitligini yaxshiroq saqlaydi;

murakkab fonli hududlarda (masalan, yo'l atrofida yoki transport vositalari soyasi mavjud sahnalarda) har ikkala model ham xatolarga yo'l qo'yadi, biroq U-Netdagi xatolar asosan kontur bo'ylab lokal xususiyatga ega bo'lsa, RFda ular yirik bloklar shaklida namoyon bo'ladi.

Muhokama: modellarning afzalliklari va cheklovlari

Olingan natijalar Random Forest (RF) va U-Net modellarining cho'l hududlarida vegetatsiya segmentatsiyasini amalga oshirishdagi imkoniyatlari hamda cheklovlarini aniq namoyon etdi. RF modeli soddaligi va hisoblash samaradorligi bilan ajralib turadi: uning trening jarayoni tez amalga oshiriladi va GPU kabi yuqori quvvatli hisoblash resurslarini talab qilmaydi. Scikit-learn platformasida amalga oshirilgan implementatsiya ilmiy-amaliy nuqtai nazardan qulay bo'lib, foydalanuvchilar uchun tushunarli hisoblanadi.

Bundan tashqari, RF test natijalarida yuqori barqarorlikni namoyish etdi – mIoU qiymati odatda 43–45 % diapazonda saqlanib, giperparametrlar o'zgarishiga nisbatan sezilarli tebranish kuzatilmadi.

Shu bilan birga, RF modelining asosiy cheklovi uning piksel darajasidagi R–G–B xususiyatlariga tayanishi bilan bog'liq. Model fazoviy kontekstni hisobga olmaydi, ya'ni daraxtlarning qatorli joylashuvi yoki landshaftdagi strukturaviy naqshlarni o'rganish imkoniyatiga ega emas.

Natijada, vegetatsiya va fon ranglari o'xshash bo'lgan sahnalarda xatolik ehtimoli ortadi: vegetatsiya fon sifatida yoki aksincha, fon vegetatsiya sifatida noto'g'ri tasniflanishi mumkin. Segmentatsiya natijalarida konturlar ko'pincha notekis ("tishli") shaklda bo'lib, maskalarning silliqligi past bo'ladi. Amaliy qo'llanmalarda bunday natijalar qo'shimcha post-processing bosqichlarini talab qilishi mumkin. U-Net modeli esa konseptual jihatdan boshqa tamoyilga asoslanadi. Encoder–decoder arxitekturasi va skip-bog'lanishlar modelga global va lokal xususiyatlarni bir vaqtning o'zida o'rganish imkonini beradi.

U-Net kichik va notekis tojlarni aniqlashda sezilarli ustunlikka ega bo'lib, daraxt qatorlari, ularning uzluksizligi hamda zichlik va siyraklik zonalarini aniqlashda yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Eng muhimi, test to'plamida mIoU va Kappa ko'rsatkichlari RF modeliga nisbatan sezilarli darajada yuqori natijalarni ko'rsatdi, ayniqsa validatsiya bosqichida bu farq yanada yaqqol namoyon bo'ldi. Biroq U-Net modelining ham muayyan cheklovlari mavjud. Modelning trening va inference jarayonlari GPU resurslariga bog'liq bo'lib, bu uni resurslari cheklangan muhitlarda qo'llashni murakkablashtiradi.

Bunday sharoitlarda qo'shimcha optimallashtirish usullari – masalan, modelni siqish (model compression), kvantlash (quantization) yoki tezlatkichlardan foydalanish – talab etiladi. Shuningdek, U-Net giperparametrlarga sezgir bo'lib, batch size, epochlar soni, learning rate yoki augmentatsiya strategiyasining noto'g'ri tanlanishi model samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Trening vaqtining RFga nisbatan sezilarli darajada uzoq davom etishi ham amaliy tizimlar uchun muhim cheklov hisoblanadi. Umuman olganda, RF modeli tezkor, barqaror va soddaligi bilan ajralib turuvchi bazaviy (baseline) yondashuv sifatida samarali bo'lsa, U-Net yuqori aniqlik talab qilinadigan segmentatsiya vazifalarida ancha ustun natijalarni ta'minlaydi. Agar tadqiqotning amaliy maqsadi daraxt qoplamini tez va taxminiy baholashdan iborat bo'lsa, RF yetarli bo'lishi mumkin.

Biroq plantatsiya sifati, daraxtlarning yashab qolish darajasi va vaqt bo'yicha o'zgarishlarni chuqur tahlil qilish talab etilgan hollarda U-Net yoki undan rivojlangan segmentatsiya modellaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Xulosa va kelgusidagi ishlar

Mazkur tadqiqot cho'l hududlarida daraxt qoplamini aniqlash va baholash muammosiga bag'ishlangan bo'lib, unda yuqori aniqlikdagi UAV (uchuvchisiz uchish apparatlari) tasvirlari asosida zamonaviy tasviriy tahlil yondashuvlarining samaradorligi kompleks tarzda o'rganildi. Tadqiqot hududi sifatida Suhaitu Gacha (Ichki Mongoliya, Xitoy) tanlanib, mazkur hududning arid iqlim sharoiti, siyrak vegetatsiya qoplami hamda fon va obyekt o'rtasidagi past kontrast kabi omillar segmentatsiya vazifasini murakkablashtiruvchi muhim faktorlar sifatida qaraldi.

Tadqiqot doirasida daraxt qoplamini aniqlash uchun ikki xil metodologik yondashuv – an'anaviy mashinaviy o'rganishga asoslangan Random Forest (RF) modeli hamda chuqur neyron tarmoqlariga asoslangan U-Net arxitekturasi – qiyosiy tahlil qilindi. Random Forest modeli piksel darajasida klassifikatsiya qilish uchun turli spektral va teksturaviy xususiyatlardan foydalanadi hamda nisbatan kam hisoblash resurslarini talab qilishi bilan ajralib turadi. U-Net esa encoder–decoder arxitekturasi asosida qurilgan bo'lib, murakkab fazoviy naqshlarni aniqlash va aniq segmentatsiya xaritalarini hosil qilish imkonini beradi.

Ekspirimental natijalar chuqur o'rganishga asoslangan yondashuvning ustunligini tasdiqladi. Xususan, piksel darajasidagi segmentatsiya sifatini baholovchi asosiy ko'rsatkichlardan biri bo'lgan mean Intersection over Union (mIoU) qiymati U-Net modeli uchun $\approx 47,02$ % ni tashkil etdi, bu esa Random Forest modelining $\approx 44,09$ % natijasidan yuqori ekanligini ko'rsatadi. Mazkur farq nisbatan kichik ko'rinishiga qaramay, murakkab cho'l landshaftlarida obyektlarni aniq ajratish nuqtai nazaridan muhim hisoblanadi.

Bundan tashqari, U-Net modeli umumiy aniqlik (Overall Accuracy, OA) hamda Kappa koeffitsienti bo'yicha ham yuqori natijalarni namoyon etdi. Kappa koeffitsientining yuqori qiymatlari model tomonidan tasodifiy to'g'ri klassifikatsiya ehtimoli kamaygan holda ishonchli natijalar olinayotganini ko'rsatadi. Bu esa U-Net modelining nafaqat aniqligi, balki barqarorligi va umumlashtirish qobiliyati yuqori ekanligini bildiradi. Shu sababli, mazkur model cho'l hududlarida daraxt qoplamini aniqlash va monitoring qilish vazifalarida samarali vosita sifatida qaralishi mumkin.

Shu bilan birga, Random Forest modeli ham o'zining muhim afzalliklariga ega. Xususan, uning tezkor o'qitilishi, kam hisoblash quvvatini talab qilishi hamda murakkab neyron tarmoqlarga nisbatan soddaroq implementatsiyasi uni resurslar cheklangan sharoitlarda, ayniqsa operativ tahlillar uchun qulay bazaviy model sifatida saqlab qoladi. Shu jihatdan, RF modeli amaliyotda benchmark yoki boshlang'ich solishtirish modeli sifatida o'z ahamiyatini yo'qotmaydi.

Tadqiqotning muhim jihatlaridan biri uning ochiqligi va takrorlanuvchanligidir. Ilmiy natijalarning reproduktivligini ta'minlash hamda boshqa tadqiqotchilar tomonidan kengaytirilgan tahlillarni amalga oshirish imkonini yaratish maqsadida barcha dasturiy kodlar, ishlatilgan ma'lumotlar to'plami (dataset) va eksperimental natijalar ochiq GitHub repozitoriyasida joylashtirildi. Bu esa ilmiy hamjamiyatda shaffoflikni oshirish va kelgusidagi izlanishlar uchun mustahkam asos yaratishga xizmat qiladi.

Kelgusidagi tadqiqotlar bir necha muhim yo'nalishlarni qamrab olishi rejalashtirilmoqda. Birinchidan, segmentatsiya sifatini yanada oshirish maqsadida U-Net modeli natijalarini DeepLabv3+ va SegFormer kabi zamonaviy va yuqori samarali arxitekturalar bilan qiyosiy tahlil qilish ko'zda tutilgan. Bu esa turli arxitekturalarning cho'l sharoitidagi samaradorligini chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi.

Ikkinchidan, segmentatsiya natijalaridan amaliy foydalanishni kengaytirish maqsadida post-processing usullarini qo'llash orqali individual daraxt tojlari chegaralarini aniqlash va ularning sonini avtomatik hisoblash tizimini ishlab chiqish rejalashtirilmoqda. Bu yondashuv ekologik monitoring, biomassa baholash hamda resurslarni boshqarish sohalarida muhim ahamiyat kasb etadi.

Uchinchidan, turli vaqt oralig'ida olingan UAV tasvirlari asosida multitemporal tahlil o'tkazish orqali vegetatsiya dinamikasini o'rganish rejalashtirilgan. Bu esa iqlim o'zgarishi, cho'llanish jarayonlari va antropogen omillarning vegetatsiyaga ta'sirini baholash imkonini beradi.

Nihoyat, so'nggi yillarda keng rivojlanayotgan foundation modellar asosida gibrid tizimlar yaratish istiqbolli yo'nalish sifatida qaralmoqda. Xususan, SAM (Segment Anything Model) va Grounding DINO kabi modellarni yengillashtirilgan U-Net variantlari bilan integratsiya qilish orqali kam annotatsiya talab qiluvchi, resurs tejankor va yuqori moslashuvchan segmentatsiya tizimlarini ishlab chiqish mumkin. Bunday yondashuvlar real sharoitlarda tezkor va keng ko'lamli monitoring tizimlarini yaratish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kuandikova, G., & Mamataliev, A. (2025). *Desert Tree Cover Evaluation* [Software]. GitHub repository.
2. Hua, S., Yang, B., Zhang, X., Qi, J., Su, F., Sun, J., & Ruan, Y. (2025). GDPGO-SAM: An unsupervised fine segmentation of desert vegetation driven by Grounding DINO prompt generation and optimization Segment Anything Model. *Remote Sensing*, 17(4), 691. <https://doi.org/10.3390/rs17040691>
3. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
4. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *MICCAI 2015*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597>
5. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
6. Zhang, C., & Kovács, J. M. (2012). The application of small UAVs for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13, 693–712.
7. Ma, L., et al. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
8. Ham, J., Chen, Y., Crawford, M. M., & Ghosh, J. (2005). Investigation of the random forest framework for classification of hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(3), 492–501. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.842481>
9. Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 3431–3440).
10. Chen, L.-C., Papandreou, G., Kokkinos, I., Murphy, K., & Yuille, A. L. (2017). DeepLab: Semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrous convolution, and fully connected CRFs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(4), 834–848. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1411.4038>
11. Dosovitskiy, A., et al. (2021). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. In *ICLR*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.11929>
12. Phan, T. N., Kuch, V., & Lehnert, L. (2020). Land cover classification using Google Earth Engine and Random Forest classifier: A case study. *Remote Sensing*, 12(15), 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>
13. Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of vegetation using UAV imagery and object-based image analysis. *Precision Agriculture*, 15(6), 1–17.
14. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
15. Gorelick, N., et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

ILMIY TAQRIZ

Mazkur maqola cho‘l hududlarida daraxt qoplamini avtomatik segmentatsiya qilish muammosiga bag‘ishlangan bo‘lib, unda yuqori aniqlikdagi UAV tasvirlari asosida ikki turdagi yondashuv – Random Forest (RF) va U-Net modellarning qiyosiy tahlili amalga oshirilgan. Tadqiqot mavzusi zamonaviy ekologik monitoring, masofadan zondlash va kompyuter ko‘rish yo‘nalishlarining kesishgan nuqtasida joylashgani bilan dolzarb hisoblanadi. Ilmiy yangilik maqolada ikki konseptual jihatdan farqlanuvchi yondashuv – statistik ansambl modeli va chuqur o‘rganishga asoslangan segmentatsiya arxitekturasi bir xil sharoitda, bir xil dataset asosida tizimli qiyoslanishida namoyon bo‘ladi. Ayniqsa, cho‘l landshaftlari kabi past kontrastli va murakkab fonli sharoitda modellarni baholash ilmiy jihatdan muhim hissa hisoblanadi.

U-Net modelining kichik o‘lchamli obyektlarga sezgirligi va fazoviy kontekstni hisobga olishdagi ustunligi aniq empirik natijalar bilan asoslangan. Dolzarblik shundan iboratki, cho‘l hududlarining degradatsiyasi global ekologik muammolardan biri bo‘lib, bunday hududlarda vegetatsiya monitoringi samarali boshqaruv qarorlarini qabul qilishda muhim ahamiyat kasb etadi. UAV texnologiyalarining rivojlanishi ushbu yo‘nalishda yangi imkoniyatlar yaratmoqda, maqola aynan shu texnologik imkoniyatlardan samarali foydalanishga qaratilgan. Amaliy ahamiyat maqolada keltirilgan natijalar asosida aniq ko‘rinadi: RF modelining resurs tejamkorligi uni amaliy tizimlar uchun mos bazaviy model sifatida tavsiya etishga imkon beradi, U-Net esa yuqori aniqlik talab etilgan monitoring vazifalarida qo‘llash uchun maqbul ekanligi isbotlangan. Bu esa ekologik monitoring markazlari va resurslari cheklangan tashkilotlar uchun muhim tavsiyalarni shakllantiradi. Metodologiya ilmiy jihatdan asosli va izchil tashkil etilgan.

Datasetni train-validation-test ko‘rinishida ajratish, baholash mezonlari sifatida mIoU, Kappa va Overall Accuracy ko‘rsatkichlaridan foydalanish tadqiqotning ishonchligini ta‘minlaydi. Bundan tashqari, sifatli (qualitative) tahlilning kiritilgani natijalarni chuqurroq talqin qilish imkonini bergan. Eksperimental dizaynning takrorlanuvchanligi ham yuqori darajada ta‘minlangan. Xulosa qilib aytganda, maqola ilmiy yangilikka ega, metodologik jihatdan asoslangan va amaliy ahamiyatga ega tadqiqot hisoblanadi. Keltirilgan kamchiliklar prinsipial xarakterga ega emas va keyingi tadqiqotlarda bartaraf etilishi mumkin. Shu munosabat bilan, mazkur maqolani ilmiy jurnalda chop etish uchun tavsiya etaman.

Disclaimer[©]

This editorial review has been prepared by the Editorial Board of the *Journal of Research & Development* for the purposes of internal editorial assessment and quality assurance within the journal’s publication process. This review is intended to provide an analytical overview of the scientific content, methodological approach, and thematic relevance of the submitted work. It does not constitute peer review, does not replace independent expert evaluation, and should not be interpreted as reflecting the personal views of the author(s) or as representing the official position of the journal. The Editorial Board assumes no responsibility for the implementation, interpretation, or consequences of any observations, comments, or analytical conclusions contained in this review. The review may include content generated with the assistance of artificial intelligence tools used for editorial support purposes.

This editorial review is provided solely to enhance transparency in the editorial process and to support the maintenance of academic and publication standards.