



UNIVERSITATEA DE VEST DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ
PROGRAMUL DE STUDII DE LICENȚĂ: INFORMATICĂ

LUCRARE DE LICENȚĂ

COORDONATOR:
Prof. Dr. Marc FRÎNCU

ABSOLVENT:
Andrei SCOFERȚA

TIMIȘOARA
2025

UNIVERSITATEA DE VEST DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ
PROGRAMUL DE STUDII DE LICENȚĂ: INFORMATICĂ

Detecția răspândirii deșerturilor pe suprafața României

COORDONATOR:
Prof. Dr. Marc FRÎNCU

ABSOLVENT:
Andrei SCOFERȚA

TIMIȘOARA
2025

Abstract

Având în vedere că zonele deșertificate reprezintă o problemă stridentă pe suprafața României, lipsa unor metode eficiente de monitorizare a acestor zone folosind imagini satelitare face dificilă definirea suprafețelor afectate. Pentru asta în această teză au fost testate mai multe metode de detecție a zonelor deșertificate de pe teritoriul României folosind imagini multispectrale, iar metodele ce au oferit rezultate bune au fost descrise și comparate în acest studiu, anumiți indici testați fiind: BSI - Indicile solului gol bazat pe diferența normalizată dintre benzile spectrale infraroșu cu undă scurtă (SWIR), infraroșu (NIR), roșie (RED) și albastră (BLUE): $BSI = ((SWIR + RED) - (NIR + BLUE)) / ((SWIR + RED) + (NIR + BLUE))$, cât și CI - Indicile crustei spectrale care se bazează pe diferența normalizată dintre valorile benzilor roșu (RED) și albastru (BLUE): $CI = (RED - BLUE) / (RED + BLUE)$. Aplicând acești indici pe zona de interes studiată care conține cantități mari de nisip și sol nefertil din cauza extinderii solului deșertificat aceștia au detectat zonele date de interes demonstrând că sunt optimi de a fi utilizați în detecția nisipurilor active de pe teritoriul României. Acești indici diferă în mai multe moduri, BSI fiind o metoda puțin mai sensibilă față de CI, toate aceste diferențe fiind comparate și analizate în detaliu în acest studiu. Aceste informații despre sol fiind foarte valoroase pentru dezvoltarea zonelor agricole și a infrastructurilor în mediile mai aride, deoarece permit o monitorizare eficientă a procesului de deșertificare și oferă date esențiale pentru luarea deciziilor și gestionarea sustenabilă a terenurilor deja afectate.

Abstract

Given that desertified areas represent a pressing issue across Romania, the lack of effective methods for monitoring these zones using satellite imagery makes it difficult to accurately define the affected surfaces. For this reason, several methods for detecting desertified areas in Romania were tested in this thesis using multispectral images. The methods that provided good results were described and compared in this study, with specific indices being tested such as: BSI - Bare Soil Index, which is based on the normalized difference between the short-wave infrared (SWIR), infrared (NIR), RED and BLUE spectral bands: $BSI = ((SWIR + RED) - (NIR + BLUE)) / ((SWIR + RED) + (NIR + BLUE))$, as well as CI - Crust Index, which relies on the normalized difference between the RED and BLUE band values: $CI = (RED - BLUE) / (RED + BLUE)$. By applying these indices to the studied area of interest, which contains large amounts of sand and infertile soil due to the expansion of desertified land, they successfully detected the target areas, demonstrating their suitability for identifying active sand zones on Romanian territory. These indices differ in several ways, with BSI being a much more sensitive method compared to CI, and all these differences are compared and analyzed in detail in the study. This soil information is highly valuable for the development of agricultural zones and infrastructure in more arid environments, as it enables efficient monitoring of the desertification process and provides essential data for decision-making and sustainable land management in already affected regions.

Cuprins

1	Introducere	5
2	Soluții similare la problema abordată	7
3	Descriere unelte utilizate în studiu	10
3.1	Benzile spectrale	10
3.2	Lumina și poziția satelitului	11
3.3	Date Sentinel-2	12
3.4	Date Planet Labs	12
3.5	Descrierea surselor de date	13
4	Descrierea algoritmului	15
4.1	Arhitectura	15
4.2	Implementarea metodei	16
4.3	Zona de studiu	19
5	Rezultatele și compararea indicilor	20
5.1	Rezultatele obținute	20
5.2	Compararea indicilor Bare Soil Index și Crust Index	26
6	Aspecte Legale, Etice, Sociale și Profesionale (LESP)	28
6.1	Aspecte legale	28
6.2	Aspecte etice	28
6.3	Aspecte sociale	29
6.4	Aspecte profesionale	29
7	Concluzii și direcții viitoare	30
7.1	Concluzii	30
7.2	Direcții viitoare	30
	Bibliografie	30

Capitolul 1

Introducere

Răspândirea deșerturilor reprezintă o problemă stringentă pentru terenurile agricole, acestea neputând susține creșterea culturilor agricole într-un mod eficient. Această problemă a **deșertificării solului** nu este doar o problemă locală, ci reprezintă un fenomen global, accelerat de schimbările climatice, defrișări masive și practici agricole nesustenabile putând avansa foarte mult dacă nu se întreprind măsuri de ameliorare, iar detecția acestor zone și observarea evoluției lor este foarte importantă pentru a nu se realiza un avans foarte mare a acestora și de a afecta cantități mari de zone agricole. Anumite zone din **sudul României, Oltenia** în mare parte sunt predispuse mai mult la deșertificarea solului din cauza anumitor acțiuni întreprinse în trecut de nerespectare a mediului, care au avut efecte daunătoare majore asupra mediului înconjurător și au cauzat existența unor cantități mari de sol nefertil care nu mai este productiv. Pentru a face față acestei provocări, tehnicile de teledetecție au apărut și joacă un rol foarte important pentru detectarea solului deșertificat și pentru a putea observa schimbările ce au loc într-un mod mai avansat. România nu beneficiază încă de un sistem integrat de monitorizare a **zonelor deșertificate**, iar studiile pe această temă sunt limitate. Prin urmare, această lucrare aduce o **contribuție proprie** la testarea și compararea metodelor aplicate specific pe solurile deșertificate din România, cu scopul de a identifica cei mai eficienți indici spectrali pentru evidențierea zonelor afectate, contribuind astfel la găsirea strategiilor cele mai bune de monitorizare a acestor zone la nivel național.

Deoarece **solul degradat** nu este reînnoit cu ușurință și pentru a asigura funcțiile solului în viitor [6], cartografierea proprietăților și funcțiilor solului și monitorizarea modificărilor în timp sunt foarte importante în prezent. Pentru asta am testat mai mulți indici pe zonele cu un grad mare al deșertificării pentru a observa care ar fi cel mai eficient pentru zona aceasta din România și de a face o comparație între acești indici. Indicele **BSI - Bare soil index** [6] a fost unul din indici ce a oferit rezultate bune în detectarea zonelor deșertificate, deși acest index a fost creat pentru cercetarea forestieră pentru a diferenția **solul gol** de alte tipuri de acoperire a solului, pe zonele deșertificate ale României am constatat că este destul de eficient dacă implementăm și restul detaliilor necesare într-un mod eficient. Un alt indice testat a fost **CI - Crust index** [9] care sa dovedit a fi o metoda foarte bună de detecție a zonelor deșertificate de pe teritoriul României, acesta folosindu-se de reflectanța mai mare a benzii albastre când este prezentă o **crustă biogenă** pe solul deșertificat.

Acești **indici** oferă o perspectivă mai clară asupra reprezentării acestor zone deșertificate din aria de studiu și evidențiază prezența **solului nefertil**. Indicii sunt mai apoi

analizați și comparați în cadrul lucrării, evidențiindu-se atât avantajele cât și dezavantajele fiecăruia, precum și rezultatele obținute de fiecare metodă în parte la testarea acesteia pe setul de date a zonei de studiu cât și modul de obținere a acestor rezultate finale.

Pentru a determina **pixelii reali** de deșert și a putea compara ulterior diferențele dintre metodele analizate, am utilizat hărțile din Google Maps, acestea oferind o sursă de referință vizuală pentru identificarea **zonelor deșertificate**. Această metodă mi-a permis să compar indicii utilizați în studiu, în condițiile în care nu am avut la dispoziție un set de date obținut de la fața locului.

Scopul principal al acestei lucrări este de a identifica și analiza cele mai eficiente metode de detecție a zonelor deșertificate de pe teritoriul României, utilizând imagini satelitare multispectrale. **Obiectivele specifice** ale studiului includ:

- evaluarea performanței unor indici spectrali în evidențierea solului deșertificat și nefertil.
- compararea rezultatelor obținute în funcție de indicii utilizați.
- determinarea celor mai potrivite surse de date satelitare pentru zona de studiu.
- formularea unor recomandări pentru aplicarea acestor metode în monitorizarea deșertificării.

Capitolul 2

Soluții similare la problema abordată

Există destul de multe studii și lucrări realizate pe baza detecției zonelor deșertificate dar în același timp destul de puține pe zona de studiu pe care o studiez în această lucrare adică pe zona de sud a României, Olteniei în mare parte - zona cu cel mai mare impact al deșertificării.

O primă lucrare este [2] care studiază o zonă de la nord de Figuig, Maroc și dezvoltă un nou indice spectral pentru detectarea dunelor de nisip din deșert folosind patru benzi din datele Sentinel-2: blue, red și două din benzile Shortwave Infrared (SWIR) (1613 și 2202 nm) pentru a urmări schimbarea dunelor de nisip în timp. NDESI- noul indice, numit Index de nisip îmbunătățit prin diferență normalizată ar putea să nu detecteze dunele stabilizate de vegetație densă și să nu poată fi utilizat în întreaga lume, funcționând bine în terenurile aride și goale, unde dunele sunt active. Acest studiu este o lucrare bine redactată și conține foarte multe detalii tehnice despre formulele posibil aplicate pentru a detecta zonele deșertificate dar este mai mult axată pe zone unde deșerturile au suprafețe mai mari decât ceea ce există în momentul de față în România.

O altă lucrare este [1] care se axează pe zona din sudul României, depozitele de nisip din zona de studiu fiind situate pe malul stâng al râului Jiu, luând forma unei fâșii alungite în direcția nord-sud (aproximativ 70 km) și cu o lățime mai îngustă în nord (4-6 km) dar atingând 28-30 km în partea sudică (Dăbuleni) care propune un nou indice (Normalized Sand Index-NSI) care este capabil să evidențieze zonele cu nisip și zonele cu vegetație care acopera solurile nisipoase. Formula de calcul folosește benzi precum: roșu (R), verde (G) și infraroșu cu unde scurte (SWIR1) unde $NSI = (G + R) / (\log (SWIR1))$. Acest studiu analizează mai multe abordări pentru dunele de nisip și anumite date ale solului pentru a crea o formulă cât mai optimă pentru zona de interes dar se limitează la trecerea la Cernoziomuri prin conținutul de humus al aceluia.

Studiul [3] oferă o abordare de ultimă generație pentru a evalua intensitatea proceselor de degradare a terenurilor și deșertificarea acestora folosind parametri biofizici relevanți cum ar fi: NDVI, NPP, BSA, ET și LST fiind integrate cu produsele de teledetecție între 2001 și 2020 pentru a obține rezultate optime, având în vedere perspectiva schimbărilor climatice. Această metodologie utilizează imagini din satelit cu o frecvență ridicată de achiziție de date și istoric de colectare, care permite analize statistice ale schimbărilor la scară globală. Acest articol rezumă mai multă informație

și ne oferă o abordare mai clară asupra zonelor principale cu teren degradabil din România și ne ajută să vedem unde sunt efecte majore în schimbările climatice ale zonei de studiu.

Scopul studiului [4] este de a analiza performanța Indicelui de Severitate a Secetei (DSI) în România și validarea acestuia pe baza altor surse de date (date meteorologice, conținut de umiditate a solului (SMC), producție agricolă). De asemenea, este de a evalua seceta pe baza unei analize multi-temporale și a tendințelor DSI obținute din imaginile satelitului Terra MODIS. Produsele MODIS au fost utilizate pe o perioadă de 19 ani (2001–2019) în perioada de vegetație a culturilor agricole (aprilie–septembrie). Rezultatele arată că acele zone agricole din Câmpia Bărăganului și Câmpia Olteniei au fost mai afectate de secetă decât cele din Câmpia Banatului, mai ales în anii 2002, 2007 și 2012. Acesta ne oferă posibilitatea de a observa unde zonele secetoase persistă mai mult, acestea fiind și zonele cu un procentaj mare al impactului deșertificării care trebuie studiate.

Studiul [5] analizează zonele deșertificate de pe mai multe zone geografice situate pe mai multe continente și exemplifică unele studii și tehnici în teledetecție pentru a detecta procesele de deșertificare din ultimii ani. Sunt prezentați anumiți indecsi care detectează vegetația pentru a putea observa schimbări în studiile de deșertificare. Acest studiu este unul mai general care acoperă o zonă mai mare de pe Terra, dar în același timp unele concepte sunt aplicabile și pe zona de studiu din România care are unele asemănări în anumite cazuri.

Articolul [6] este un studiu făcut pentru platoul elvețian care se axează pe determinarea solului gol din zonele agricole din Elveția și care se bazează pe un index Barest Pixel Composite care folosește Bare Soil Index care se bazează pe o combinație a index-ului NDVI și a index-ului normalizat de diferență (NDBI). BSI a fost utilizat în principal în cercetarea forestieră pentru a diferenția între solul gol și alte tipuri de acoperire a solului [7]. BSI folosește SWIR1 în formula sa inițială dar a fost constatat că pe zona din Elveția SWIR2 este mai stabil în precizia clasificării. Rezultatele testelor au indicat că BSI a funcționat substanțial mai bine decât NDVI în ceea ce privește confuzia cu umbrele copacilor și cu umbrele norilor. Pentru threshold aceștia l-au folosit pentru a face o distincție între solul gol și vegetație uscată sau pixeli mixti. Pragul a fost folosit pe baza datelor de referință ale solului gol. Pentru asta sa folosit datele spectrometrului din Airborne Prism Experiment (APEX), acestea oferind o rezoluție spațială mai mare (2 m) și mai multe benzi spectrale ceea ce a dus la detectarea cu o precizie mai mare a zonelor cu soluri goale.

Cercetarea [8] se axează pe detecția solului gol din padurile din vestul Iranului folosind teledetecția și își propune să dezvolte un indice al solului gol (MBI) care îmbunătățește semnificativ metodele de clasificare existente. Dezvoltarea MBI a accentuat proprietățile distincte de reflectare ale solului gol în comparație cu zonele urbane în benzile de infraroșu cu undă scurtă (SWIR1 și SWIR2), îmbunătățind detectarea solului gol în acest mod, iar pentru a exemplifica și mai mult această distincție a fost încorporată în formulă și banda de infraroșu (NIR). Acest articol ne prezintă și formulele indicilor folosiți și în alte zone ale lumii pentru detectarea solului gol în diferite medii mai umede sau mai aride și importanța teledetecției solului gol în prevenirea răspândirii acestuia și cunoașterea unde se află.

Articolul [9] se axează pe dezvoltarea și implementarea indicelui crustei spectrale peste dunele de nisip. Sa observat o caracteristică spectrală unică a crustei biogenă a solului care conține cianobacterii, astfel s-a demonstrat că pigmentul special de

ficobilină din cianobacterii contribuie la producerea unei reflectanțe relativ mai mari în regiunea spectrală a benzii albastre, iar în cazul acesta a fost dezvoltat un indice Crust index (CI) bazat pe diferența normalizată dintre benzile spectrale roșu și albastru unde $CI = (RED - BLUE)/(RED + BLUE)$. Aplicând indicele pe un mediu cu dune de nisip, s-a demonstrat că CI poate fi utilizat pentru a detecta din imagini satelitare diferite unități morfologice litologice, cum ar fi nisipurile active, zonele interdunare cu cruste și plajele. Absența, existența și distribuția scoarței solului reprezintă o informație foarte importantă, deoarece crustele de sol contribuie la stabilitatea solului, la formarea solului, la fertilitatea sa și la circuitului apei din sol. De asemenea este important pentru aflarea informațiilor legate de dezvoltarea regiunilor agricole în mediile aride. Iar un alt avantaj este că acest indice poate fi folosit cu imagini furnizate de orice senzor care conține banda albastră.

Studiul [10] face o analiză a prezenței solului gol în terenurile cultivate arabile pentru aplicații de teledetecție a solului vegetal și folosește indicele BSI - Bare Soil Index pentru a diferenția solul gol de terenurile cu vegetație. Sunt analizate trei zone de studiu pentru demonstrarea frecvenței solului gol în Italia, în special în situri reprezentative ale sistemelor agricole arabile intensive din nordul, centrul și sudul Italiei. Au fost folosite imagini Sentinel-2 care acoperă cele trei situri de studiu care au fost selectate pe platforma Google Earth Engine (GEE), principalele benzi care au fost folosite în studiu fiind NIR, SWIR, RED, BLUE și GREEN. A fost testat mai întâi indicele NDVI pentru a observa între solul gol și cel acoperit de vegetație, acest indice folosind banda 4 - RED și banda 8 - NIR ale Sentinel-2, care sunt avantajoase în distingerea eficientă a vegetației față de alte acoperiri terestre. Dar indicele NDVI neavând informații spectrale unice, nu poate fi utilizat pentru a diferenția solurile de toate celelalte reprezentări terestre. Prin urmare, pentru a depăși această limitare, a fost utilizat un indice al solului gol (BSI), pentru un rezultat mai bun. BSI fiind o combinație între NDVI și indicele de acumulare a diferenței normalizate (NDBI), acesta fiind un indice spectral care consolidează detectarea suprafețelor de sol expuse și a zonelor necultivate bazându-se pe caracteristicile solului, fiind folosit SWIR1 a formulei originale. Valorile indicelui variază între -1 și 1, unde o valoare mare desemnează solul gol. Demonstrând că un beneficiu al BSI este separarea zonelor vegetale de restul tipurilor de sol. Este reliefat de asemenea că este esențial cunoașterea zonei studiate pentru definirea valorilor pragurilor optime pentru a putea fi identificate zonele cu sol gol cât mai bine. Studiul specificând că BSI a avut performanțe semnificativ mai bune decât NDVI-ul minim în ceea ce privește umbrele copacilor și umbrele norilor ceea ce am putut și eu detecta și observa în lucrarea mea practică.

Toate **aceste studii** analizează mai multe zone de studiu pentru a identifica o anumită componentă a solului, fie zone deșertificate, fie zone agricole sau soluri goale. În concluzie, pot spune că studiile analizate mi-au oferit multe informații folositoare care m-au ajutat pe parcursul lucrării, spre exemplu m-a ajutat să identific zona specifică de studiu din România, de asemenea am folosit în studiul meu pentru detecția solului deșertificat indicii Bare Soil Index cât și Crust Index care m-au ajutat foarte mult la detecția **zonelor deșertificate** de pe teritoriul României.

Capitolul 3

Descriere unelte utilizate în studiu

3.1 Benzile spectrale

Teledetecția este știința de a dobândi informații despre suprafața Pământului fără a fi efectiv în contact cu aceasta. Acest lucru se realizează prin detectarea și înregistrarea energiei reflectate sau emise și prin procesarea, analizarea și aplicarea acestor informații [12]. **Benzile spectrale** sunt intervale restrânse de lungimi de undă din spectrul electromagnetic în care un senzor captează radiația reflectată sau emisă de un obiect sau de suprafața Pământului. Fiecare bandă corespunde unei regiuni specifice din spectru, cum ar fi lumina vizibilă (albastru, verde, roșu), infraroșu apropiat sau infraroșu cu undă scurtă. Informațiile obținute din diferite benzi permit analiza proprietăților fizice și chimice ale suprafețelor, fiind utilizate în teledetecție pentru monitorizarea vegetației, solului, apei și a schimbărilor de mediu. Albastrul, verdele și roșul sunt culorile primare sau lungimile de undă ale spectrului vizibil. Sunt definite așa deoarece nici o culoare primară nu poate fi creată din celelalte două, dar toate celelalte culori pot fi formate prin combinarea albastrului, verdei și roșului în diferite proporții. Deși vedem lumina soarelui ca o culoare uniformă sau omogenă, aceasta este de fapt compusă din diferite lungimi de undă ale radiațiilor în principal în porțiunile ultraviolete și infraroșii ale spectrului.

Bandă	Denumire	Lungime de undă	Rezoluție
Blue(B2)	Albastru	0.490 (μm)	10 (m)
Red(B4)	Roșu	0.665 (μm)	10 (m)
Nir(B8)	Infraroșu apropiat	0.842 (μm)	10 (m)
Swir(B10)	Infraroșu cu undă scurtă	1.375 (μm)	60 (m)

Tabela 3.1: Benzile spectrale Sentinel-2.

Bandă	Denumire	Lungime de undă	Rezoluție
Blue(B1)	Albastru	0.455 – 0.515 (μm)	3-5 (m)
Green(B2)	Verde	0.500 – 0.590 (μm)	3-5 (m)
Red(B3)	Roșu	0.590 – 0.670 (μm)	3-5 (m)
NIR(B4)	Infraroșu apropiat	0.780 – 0.860 (μm)	3-5 (m)

Tabela 3.2: Benzile spectrale PlanetScope.

În Tabelul 3.1 și Tabelul 3.2 putem observa că **Banda albastră** este obținută la o lungime de undă de aproximativ: 0.45 – 0.52 μm , aceasta aflându-se la limita inferioară a spectrului vizibil. Este utilă în special pentru evidențierea corpurilor de apă, deoarece: apa absoarbe foarte mult lumina în albastru. De asemenea, banda albastră este sensibilă la particulele din atmosferă (ceată, fum).

În Tabelul 3.1 și Tabelul 3.2 se observă că **Banda roșie** este obținută la o lungime de undă de aproximativ: 0.59 – 0.67 μm , fiind una dintre cele mai importante benzi în analiza vegetației. Aceasta se află în zona spectrului vizibil, iar vegetația sănătoasă absoarbe aproape complet lumina roșie datorită prezenței clorofilei. Solurile goale și suprafețele construite reflectă mai mult în această bandă, ceea ce permite o diferențiere eficientă între vegetație și alte tipuri de acoperiri ale solului. Banda roșie ne mai poate oferi informații despre diferite specii de plante și să ne dăm seama de caracteristicile culturale/urbane.

În Tabelul 3.1 și Tabelul 3.2 se evidențiază că **Banda infraroșu apropiat** este obținută la o lungime de undă de aproximativ: 0.76 – 0.90 μm , aceasta fiind una dintre cele mai importante pentru analiza vegetației. Vegetația reflectând o cantitate mare de lumină în infraroșu apropiat datorită structurii interne a frunzelor. În schimb, solul gol și suprafețele contruite reflectă mai puțin în această bandă, asta ajutând foarte mult la distingerea zonelor deșertificate de cele vegetale.

În Tabelul 3.1 putem observa că **Banda infraroșu cu undă scurtă** este obținută la o lungime de undă de aproximativ: 1.0 – 2.5 μm , eu folosind SWIR (1.3) care are o lungime de undă de 1.375 μm pentru datele Sentinel-2. Această bandă este foarte utilă pentru detectarea umidității, vegetații cu un conținut ridicat de apă reflectă mai puțin în SWIR, în timp ce solul uscat sau suprafețele aride reflectă mai mult. Aceste benzi fiind de asemenea capabile la detectarea temperaturii suprafeței și pot în acest mod evidenția zonele afectate de incendii sau de lipsa vegetației.

3.2 Lumina și poziția satelitului

În contextul imaginilor spectrale, lumina și poziția satelitului joacă roluri esențiale în calitatea și acuratețea datelor obținute.

Lumina: Imaginile spectrale sunt capturate folosind senzori care detectează radiația electromagnetică reflectată de suprafața Pământului, în special în spectre precum vizibil, infraroșu apropiat și infraroșu termic. **Intensitatea și unghiul luminii solare** influențează reflectanța suprafețelor. De exemplu, la apus sau răsărit (unghiuri solare

joase), umbrele pot distorsiona datele, reducând acuratețea identificării caracteristicilor solului. Deși nu mereu este posibil, am încercat să selectez imaginile ce au o calitate solară similară și cât mai clare posibile.

Poziția satelitului: Sateliții, precum cei din constelația Landsat sau Sentinel, orbitează Pământul pe traiectorii prestabilite, capturând imagini la unghiuri și altitudini specifice. **Poziția satelitului** afectează **rezoluția spațială** și unghiul de observație. Un unghi direct deasupra minimizează distorsiunile geometrice și efectele umbrelor, oferind date mai precise. În schimb, un unghi oblic poate introduce erori în interpretarea spectrală, mai ales în zonele cu relief variat. Din acest motiv, am încercat la achiziționarea imaginilor satelitare să folosesc imaginile cu un unghi direct deasupra zonei de studiu.

3.3 Date Sentinel-2

Am folosit datele **Sentinel-2 L2A** care oferă imagini globale în treisprezece benzi spectrale la o rezoluție de 10 m - 60 m și un timp de revizitare de aproximativ cinci zile, benzile BLUE (banda 2), RED (banda 4), NIR (banda 8) și SWIR (banda 10), pentru calculul indicilor spectrali. Sentinel-2 este o rețea de sateliți care orbitează Pământul, parte a programului Copernicus al Uniunii Europene, gestionată de Agenția Spațială Europeană (ESA) [11]. Constelația include doi **sateliți operaționali**, Sentinel-L2A (lansat în 2015) și Sentinel-2B (lansat în 2017), care lucrează împreună pentru a oferi imagini multispectrale de înaltă rezoluție (10 m) în mare parte. Datele Sentinel-2 L2A sunt preprocesate, calibrarea radiometrică este deja efectuată, datele reprezintă valori de reflectanță la baza atmosferei (BOA). De asemenea, corecția atmosferică a fost aplicată folosind algoritmul Sen2Cor, astfel încât efectele atmosferice, cum ar fi împrăștierea și absorbția, au fost eliminate. Am ales date fără nori, prin urmare nu a fost necesară mascarea norilor. Am ales să folosesc datele Sentinel-2, deoarece: au o rezoluție spectrală ridicată, timpul de revizitare este unul scurt și disponibilitatea datelor face foarte accesibil procesul, datele fiind gratuite.

3.4 Date Planet Labs

Am utilizat și imagini furnizate de **Planet Labs**, o companie americană privată specializată în observarea Pământului, care operează una dintre cele mai mari constelații de sateliți de teledetecție din lume, cunoscuți sub numele de **Dove**, fiind de dimensiuni mici (cunoscuți și ca nanosateliți sau CubeSats) și sunt capabili să capteze imagini multispectrale, utile într-o varietate de domenii precum agricultura, monitorizarea mediului, urbanismul sau răspunsul în situații de urgență. Aceasta a fost înființată în 2010 de foști ingineri NASA, acești sateliți colectând zilnic imagini multispectrale la o rezoluție spațială de aproximativ 3–5 metri, oferind astfel o frecvență foarte ridicată de achiziție, uneori chiar zilnică pentru aceeași regiune. Am ales să folosesc datele Planet Labs datorită rezoluției spațiale superioare, fapt ce permite o detecție mai precisă a schimbărilor la scară locală. De asemenea, am folosit aceste imagini, deoarece: oferă o gamă mai largă a alegerii de imagini, colectarea fiind zilnică ne permite să obținem imagini calitative pentru fiecare lună din an, acest lucru nefiind posibil mereu pentru datele Sentinel-2. Accesul la date a fost obținut prin intermediul unei licențe

educaționale și de cercetare oferite de Planet Labs, cu ajutorul Universității de Vest din Timișoara astfel facilitând utilizarea acestora în mediul academic.

3.5 Descrierea surselor de date

Mediul de descărcare a imaginilor satelitare a fost compus din două surse principale: stac-fastapi - UVT și Planet Labs. **Stac-fastapi** [13] oferind seturile de date furnizate de un API care este asigurat prin colaborarea dintre Universitatea de Vest din Timișoara și ROSA - Agenția Spațială Română. Acest API oferă date de pe întregul teritoriu al României în 13 benzi spectrale care au o rezoluție între 10m-60m și un timp de revizuire de aproximativ 5 zile. Acesta având de asemenea date și pentru alte țări, precum: Republica Moldova, Serbia, o parte din Ucraina, Ungaria, Slovacia și Bulgaria. Această metoda mi-a furnizat datele necesare pentru testarea metodelor de detecție folosind programul Sentinel-2 al acestui API care conține date din 2017 până în prezent datele fiind L1C și convertite în format **GeoTIFF** optimizat pentru nori. Pentru zona de studiu aleasă de către mine această metodă a fost foarte bună pentru testarea și compararea metodelor deși mi-a putut oferi rezultate finale și calitative doar pentru 2023 și 2024, deoarece: restul anilor nu aveau suficiente imagini ale fiecărei luni necesare pentru zonă studiată care să fie calitative. **Planet Labs** este o companie privată americană specializată în observarea Pământului printr-o constelație proprie de sateliți. Constelațiile de sateliți Planet oferă imagini de înaltă frecvență pentru a ajuta la identificarea și măsurarea schimbărilor în timp și sarcini de înaltă rezoluție pentru monitorizarea zonelor de interes. Acest API ne oferă imagini satelitare zilnice la o rezoluție de: 3-5 m (PlanetScope – sateliți Dove) și 50 cm - 1 m (SkySat – sateliți cu rezoluție foarte mare), având de asemenea un spectru mai larg de date utilizabile. Imaginile multispectrale pot fi instalate folosind **Cloud Optimized GeoTIFF (COG)** și are la disponibile mai multe benzi precum roșie(red) verde(green) albastră(blue) cât și infraroșu(nir) adică RGB Nir cât și albastru costal(constal blue) și galben(yellow). Aceste imagini nu au în componența lor banda infraroșie cu undă scurtă (SWIR) acest lucru limitând folosirea indicelui Bare Soil Index în acest caz. Imaginile pot fi mai apoi compuse dacă sunt formate din mai multe cadre pentru a ușura procesul de gestionare a acestora. Datele finale fiind normalizate aplicând procesul de **armonizare** (Harmonize) pentru fiecare imagine de pe Planet pentru ca benzile spectrale nu corespund 1:1 cu benzile Sentinel-2, iar acest proces încearcă să modifice valorile Planet ca să fie cât mai apropiate de cele Sentinel-2 pentru a putea fi folosite în formulele indicilor mai apoi. Procesul de armonizare se mai ocupă de alinierea radiometrică și geometrică adică ajustează valorile de reflectanță pentru a putea fi comparabile și a oferi o consistență cu imaginile Sentinel-2. Dar deși imaginile Planet au o rezoluție mai bună 3-5 m și actualizări zilnice, există unele limitări deoarece au doar 4 benzi (RGB + NIR) față de 13 pentru Sentinel-2, calitatea datelor brute poate varia semnificativ între zile sau sateliți, acestea având de asemenea uneori mai mult zgomot vizual, acest lucru făcând datele Sentinel-2 simple ceva mai bune pentru acest studiu.

Caracteristică	Sentinel-2 (L2A)	PlanetScope (Planet Labs)
Număr benzi spectrale	13 benzi (B1–B12, B8A)	4 benzi (Blue, Green, Red, NIR)
Benzile utilizate frecvent	B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), B8 (NIR), B10 (SWIR)	Blue, Green, Red, NIR
Rezoluție spațială	10 m (pentru B2, B3, B4, B8), 20 m, 60 m (restul)	3–5 m (toate cele 4 benzi)
Acoperire globală	Da – acoperire sistematică globală	Da – dar disponibilitatea depinde de licență și zonă
Frecvență achiziție	Aproximativ la fiecare 5 zile	Zilnic (în condiții bune de vizibilitate)
Cost	Gratuit	Costă (gratuit pentru educație/cercetare limitat)
Corecție atmosferică	Inclusă (L2A = BOA reflectance cu Sen2Cor)	Nu întotdeauna, poate necesita prelucrare
Spectrul SWIR	Da (B10, B11, B12 – folosite pentru detecția umidității solului)	Nu există benzi SWIR

Tabela 3.3: Comparatie între imaginile Sentinel-2 și PlanetScope.

Putem observa în Tabelul 3.3 că imaginile **PlanetScope** au rezoluție mai mare (3–5 m) față de Sentinel-2 (10-60 m) în general dar are mai puține benzi disponibile. PlanetScope nu are benzi SWIR (spre deosebire de **Sentinel-2** care are B10, B11, B12). Datele Planet trebuie armonizate, întrucât valorile de reflectanță diferă din cauza senzorilor și procesării, acest lucru se face deoarece senzorii diferiți captează lumina în mod diferit (deși acoperă aceleași regiuni spectrale), asta fiind foarte important pentru compararea rezultatelor între Planet și Sentinel-2.

Capitolul 4

Descrierea algoritmului

4.1 Arhitectura

Partea practică a fost realizată pe Google Colab unde am folosit limbajul python versiunea utilizată fiind 3.11.11, această metodă fiind una foarte optimă pentru lucrul cu prelucrarea imaginilor satelitare pentru analiza lor ulterioară, google colab permițând preluarea datelor ușor din baza de date folosită adică din google drive și gestionarea acestora ca mai apoi să fie afișate în mediul de lucru. Python a servit un rol foarte important, deoarece: toate bibliotecile (NumPy, Matplotlib, OpenCV) reprezentate în Tabel 4.1 necesare pentru implementarea algoritmului dat sunt integrate în acest limbaj de programare oferind funcționalități cheie. Bibliotecile utilizate fiind NumPy 2.0.2 pentru calcule numerice eficiente, Matplotlib 3.10.0 pentru vizualizarea imaginilor rezultate și OpenCV 4.11.0.86 pentru procesarea imaginilor satelitare, inclusiv încărcarea, redimensionarea, normalizarea și segmentarea datelor. **NumPy** (Numerical Python) este o bibliotecă fundamentală pentru calcul numeric în Python. Oferă suport pentru arrays multi-dimensionale, operații matematice eficiente și funcții de algebră liniară. **Matplotlib** este o bibliotecă de vizualizare a datelor în Python, utilizată pentru crearea de grafice 2D și 3D (ex. histograme, imagini, diagrame). **OpenCV** (Open Source Computer Vision Library) este o bibliotecă open-source pentru procesarea și manipularea imaginilor, viziune computerizată, filtrare și segmentare.

Bibliotecă	Versiune	Rol principal	Funcționalități cheie
NumPy	2.0.2	Calcul numeric pe arrays	<code>np.divide</code> , <code>np.mean</code> , gestionarea datelor
Matplotlib	3.10.0	Vizualizarea rezultatelor	<code>plt.imshow</code> , <code>plt.subplot</code> , configurare grafice
OpenCV	4.11.0.86	Procesarea imaginilor satelitare	<code>cv2.imread</code> , <code>cv2.resize</code> , <code>cv2.threshold</code>

Tabela 4.1: Biblioteci utilizate.

4.2 Implementarea metodei

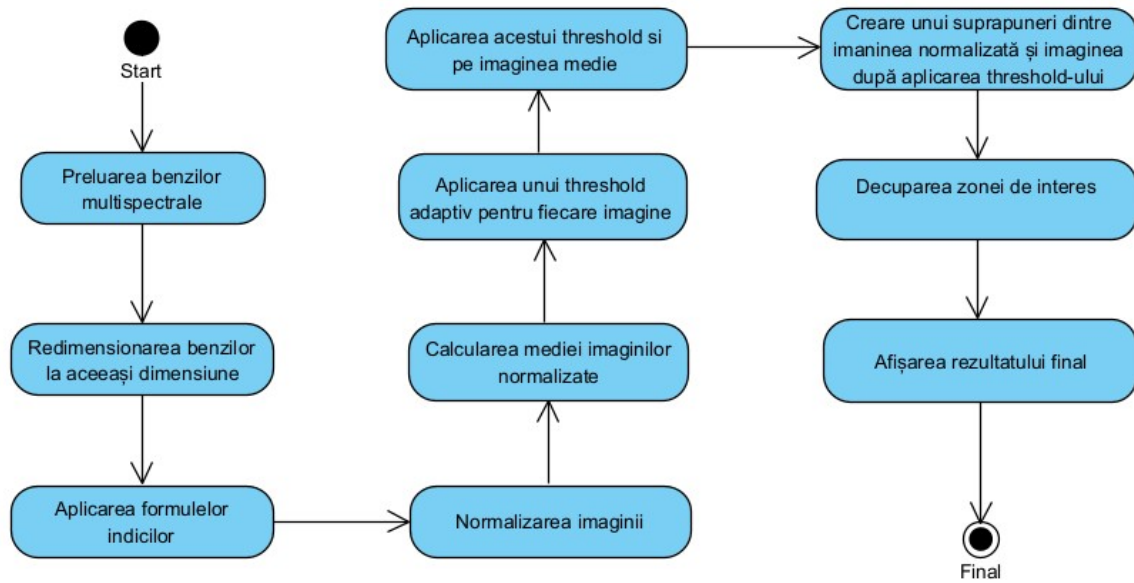


Figura 4.1: Modelare algoritm.

În reprezentarea de mai sus Figura 4.1 este descris modul în care funcționează algoritmul implementat oferind detalii prin pașii prin care trebuie să treacă pentru a ajunge de la start la final și de a obține un rezultat favorabil. La început sunt preluate benzile multispectrale ca mai apoi să fie redimensionate pentru a avea aceeași mărime fiecare. Mai apoi este aplicată formula **indiciilor de detecție** a zonelor deșertificate și care au în componența lor sol nefertil **BSI - Bare Soil Index** cât și **CI - Crust Index** în dependență de ce indice alegem să folosim pentru fiecare imagine, formulele diferențiându-se una de alta BSI folosește 4 benzi spectrale: albastră (BLUE), roșie (RED), infraroșu (NIR) și infraroșu cu undă scurtă (SWIR) care are forma:

$$BSI = \frac{(SWIR + RED) - (NIR + BLUE)}{(SWIR + RED) + (NIR + BLUE)}$$

Iar CI folosește 2 benzi spectrale: roșie (RED) și albastră (BLUE) care are forma:

$$CI = \frac{(RED - BLUE)}{(RED + BLUE)}$$

Apoi pentru un rezultat cât mai favorabil în acest studiu au fost aplicați următorii pași:

1. Au fost folosite imagini multispectrale pentru **9 luni** ale anului și mai exact pentru lunile: martie, aprilie, mai, iunie, iulie, august, septembrie, octombrie și noiembrie.

2. Pentru fiecare lună a fost aplicat apoi un **indice de detecție** a zonelor deșertificate Bare Soil Index sau Crust Index și rezultatele au fost normalizate.
3. A fost calculată **media imaginilor normalizate** pentru cele 9 luni, iar apoi media a fost din nou normalizată.
4. S-a aplicat o **mască binară adaptivă** (`adaptive_thresh_mean_c`) folosind o fereastră de 11x11 pixeli și constanta $c = 2$.
5. Masca binară setează pixelii mai mari ca pragul la 255 (alb) și ceilalți la 0 (negru), adaptându-se la variațiile locale de intensitate.
6. A fost calculată **valoarea medie** a fiecărei măști binare și a celei medii, pentru a obține un prag final specific fiecărui indice.
7. Pentru **Crust Index**, valoarea pragului final este calculată folosind o valoare medie egală cu $0.2 \times 255 = 51$, care este extras din mediana valorilor pixelilor din masca binară adaptivă.
8. Pentru **Bare Soil Index**, valoarea pragului final se bazează pe o formulă care implică:
 - Diferența dintre mediana valorilor normalizate și media acestora.
 - Diferența dintre media măștilor adaptive și mediana măștii binare medii.
9. Aceste diferențe sunt combinate (prin sumă sau diferență absolută), în funcție de tipul imaginilor și contextul lor.
10. Pe baza acestui **prag**, se generează măștile finale pentru fiecare lună și pentru imaginea medie.
11. Se suprapun imaginea medie (normalizată) și masca binară medie cu o pondere de 50% fiecare pentru a evidenția zonele de interes.
12. **Imaginea finală** este decupată pentru a păstra doar regiunea de studiu relevantă.

Conform punctului 2, imaginea este normalizată pentru a putea fi aduse într-un interval standard de (0-255), facilitând procesarea ulterioară și vizualizarea. **Normalizarea** ajustează valorile astfel încât să fie comparabile și utilizabile pentru aplicarea pragurilor.

Este calculată **media imaginilor** conform punctului 3 folosite după normalizare și are loc aplicarea unei **măști binare** atât pentru fiecare indice normalizat cât și pentru media imaginilor folosind un **threshold adaptiv** potrivit punctului 4 din biblioteca OpenCV care este calculat local pentru fiecare pixel al imaginii pentru a seta pixelii care trec de pragul setat 255 (alb) iar ceilalți la 0 (negru). Metoda de calcul a pragului adaptiv a fost `adaptive_thresh_mean_c` care înseamnă că pragul pentru fiecare pixel este calculat ca media valorilor pixelilor din vecinătate în cazul meu am folosit 11x11 pixeli în jurul fiecărui pixel și o constanta c care are valoarea 2 și rezultatul final fiind media vecinătății pixelului - 2. Această metodă ținând cont de variațiile locale de iluminare sau intensitate, spre deosebire de un prag global fix. Conform punctului

5 rezultatul este o imagine binară clară: alb sau negru, fără nuanțe de gri, pentru a putea evidenția bine zonele deșertificate de celelalte.

Este calculat apoi **valoarea medie** conform punctului 6 a fiecărei măști binare cât și valoarea medie a pixelilor din masca binară a imaginii mediei ca după asta să fie calculat ultima valoare a pragului de care avem nevoie, aceasta fiind calculată diferit în funcție de metoda și indicele utilizat.

Pentru indicele **Crust Index**, descris la punctul 7, valoarea pragului final este calculată folosind un număr mediu specific ce este egal cu $0.2 * 255 = 51$ care este extras din mediana valorilor pixelilor din masca binară adaptivă. Pentru indicele **Bare Soil Index**, descris la punctul 8, valoarea pragului final este calculat puțin mai complicat pentru a furzina rezultate optime, această metodă constă din calcularea a **două variabile** prima fiind calculată ca diferența dintre mediana valorilor din tabloul mediu normalizat și media tuturor valorilor normalizate, iar a doua variabilă fiind calculată ca diferența dintre media măștilor binare adaptive și mediana valorilor din tabloul mediu al măștii binare adaptive. Iar apoi conform punctului 9 este calculată suma sau diferența absolută dintre aceste variabile în funcție de tipul imaginilor satelitare pe care le avem, uneori aplicându-se și cate o mică modificare a valorii finale în funcție de fiecare caz în parte. **În final** conform punctului 10 pentru pragul folosit mai departe calculându-se diferența dintre mediana valorilor pixelilor din masca binară adaptivă și valoarea individuală aflată anterior. Apoi este calculat pentru fiecare indice normalizat din nou măștile binare dar de data asta folosind ca prag valorile medii aflate anterior de la aplicarea pragului adaptiv, iar pentru imaginea medie este aplicat acel **prag special** care depinde de metoda și indicele utilizat. În final potrivit punctului 11 este creată o **suprapunere** dintre indicele normal mediu care este o imagine de bază ce conține valorile normalizate între 0 și 255 și masca binară medie calculată anterior care indică zonele de interes care ar fi zonele deșertificate, ambele imagini având o pondere de 50% la imaginea finală. Această imagine finală este decupată după cum reiese din punctul 12 pentru a afișa doar partea relevantă din întreaga imagine satelitară.

4.3 Zona de studiu

Zona de studiu este situată în partea sudică a județului Dolj, care face parte din regiunea **Olteniei în sud-vestul României**, incluzând localitățile Mârșani, Apele Vii, Marotinu de Sus, Daneti și Ghizdăvești. Aceasta este caracterizată de un relief de câmpie, cu utilizare majoritar agricolă și fragmente de pădure sau vegetație forestieră. Se remarcă o diversitate a stării vegetației, cu porțiuni de teren degradat și chiar **teren deșertificat**, ceea ce face această regiune relevantă pentru analiza solului și a cantității de nisip activ pe această zonă.

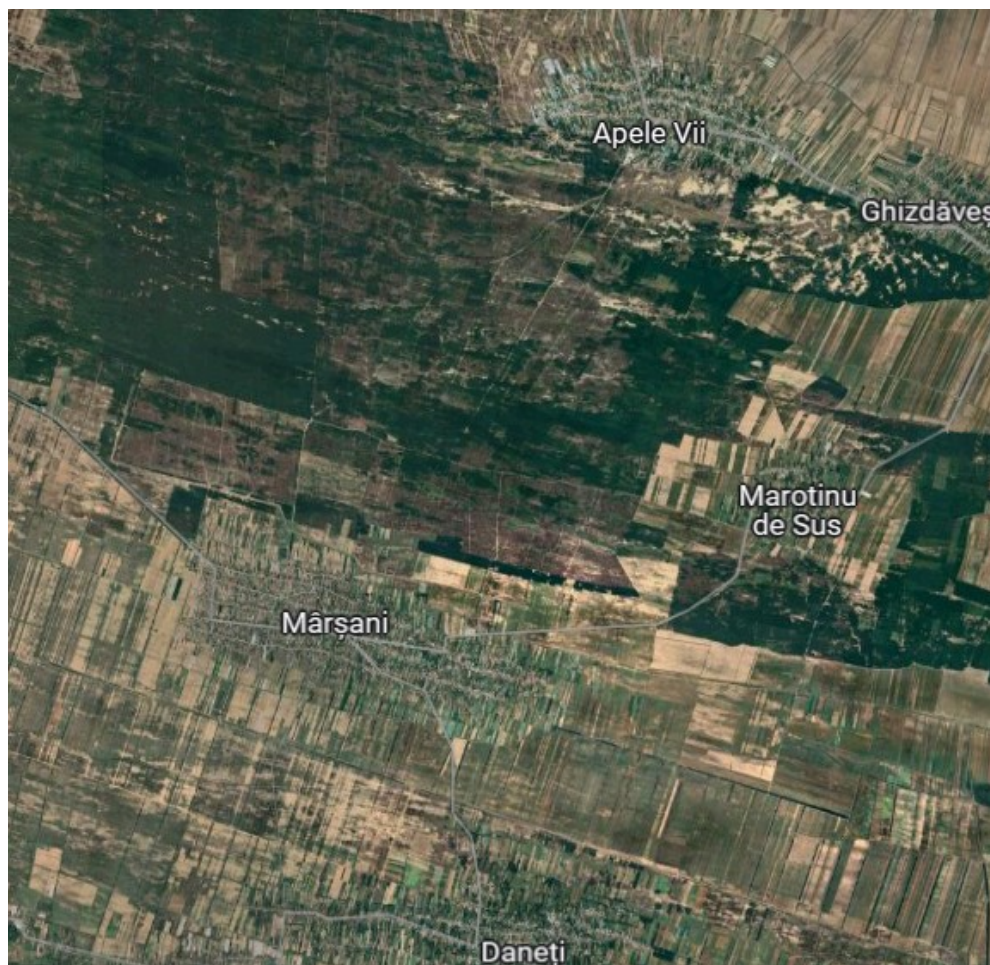


Figura 4.2: Zona de studiu (Google Maps).

Această zonă din sudul **României, Oltenia**, este în mare parte regiunea cu cel mai mare impact al deșertificării și reprezintă o alegere ideală pentru testarea metodelor de teledetecție a zonelor deșertificate. Zona ilustrată în Figura 4.2 include atât suprafețe deșertificate, forestiere și agricole, cât și diverse localități, permițând analiza modului în care se aplică fiecare indice asupra diferitelor tipuri de teren și facilitând compararea acestora din mai multe perspective. Diversitatea solului din această zonă contribuie la evidențierea mai clară a diferențelor pentru rezultatul final și subliniază eficiența metodei împreună cu indicele folosit. Alegerea acestei zone este susținută de studiile recente care evidențiază tendințele accentuate de aridizare și scădere a fertilității solului în sudul României [4].

Capitolul 5

Rezultatele și compararea indicilor

5.1 Rezultatele obținute

Următoarele **rezultate** au fost obținute folosind imagini **Sentinel-2**, preluate pentru o perioadă de nouă luni consecutive. Aceste imagini fiind folosite pentru a calcula diferiți indici de detecție a **zonelor deșertificate**, cum ar fi Bare Soil Index și Crust Index. Fiecare rezultat obținut referitor la imaginile finale are următoarea structură: Culoarea galbenă stridentă reprezintă suprafețele deșertificate propriu-zise, iar galbenul obișnuit indică un sol nefertil, rezultat al extinderii nisipului pe un sol sănătos. Culoarea roșie reprezintă un sol fertil normal sau alte tipuri de teren, iar roșul închis spre negru indică pădurile dense, caracterizate de o vegetație abundentă.

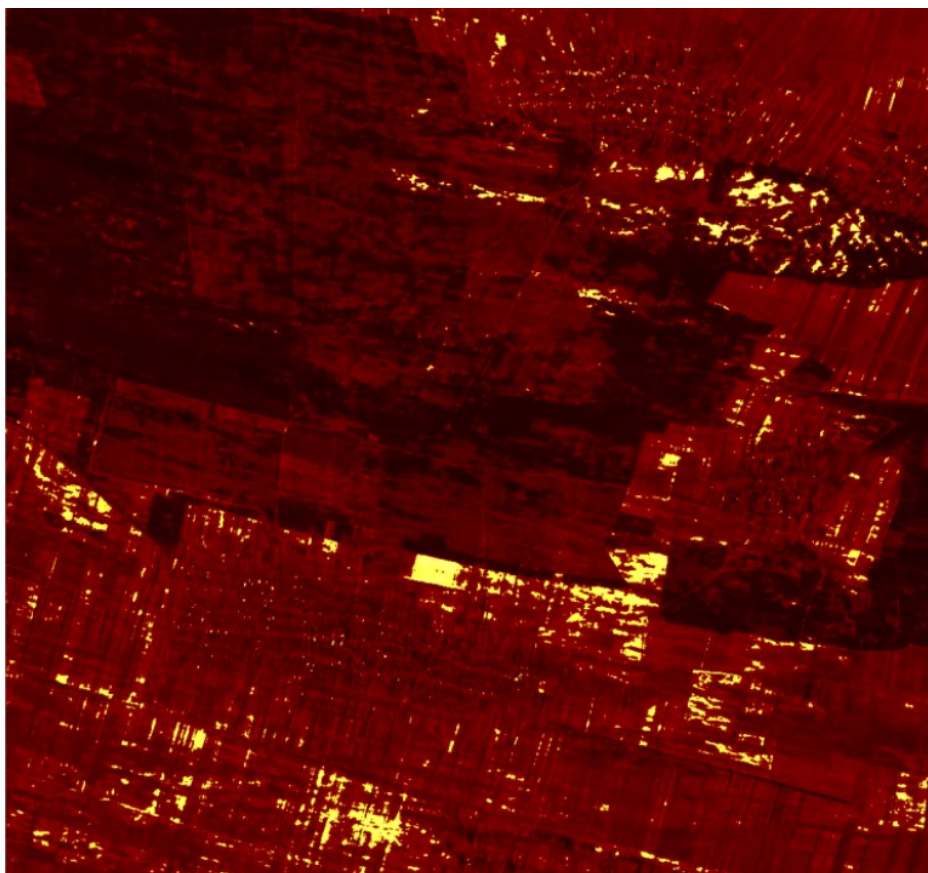


Figura 5.1: Crust index anul 2023 (Sentinel-2).

În Figura 5.1 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Crust Index** pentru anul **2023**. Aceasta are în componența sa un număr de 29.133 de pixeli deșertificați dintr-un total de 1.210.000. Zonele identificate ca deșertificate (marcate cu galben în imagine) sunt concentrate în anumite părți specifice, sugerând o corelație cu factori locali, cum ar fi tipul de sol, utilizarea terenurilor sau expunerea la eroziune.

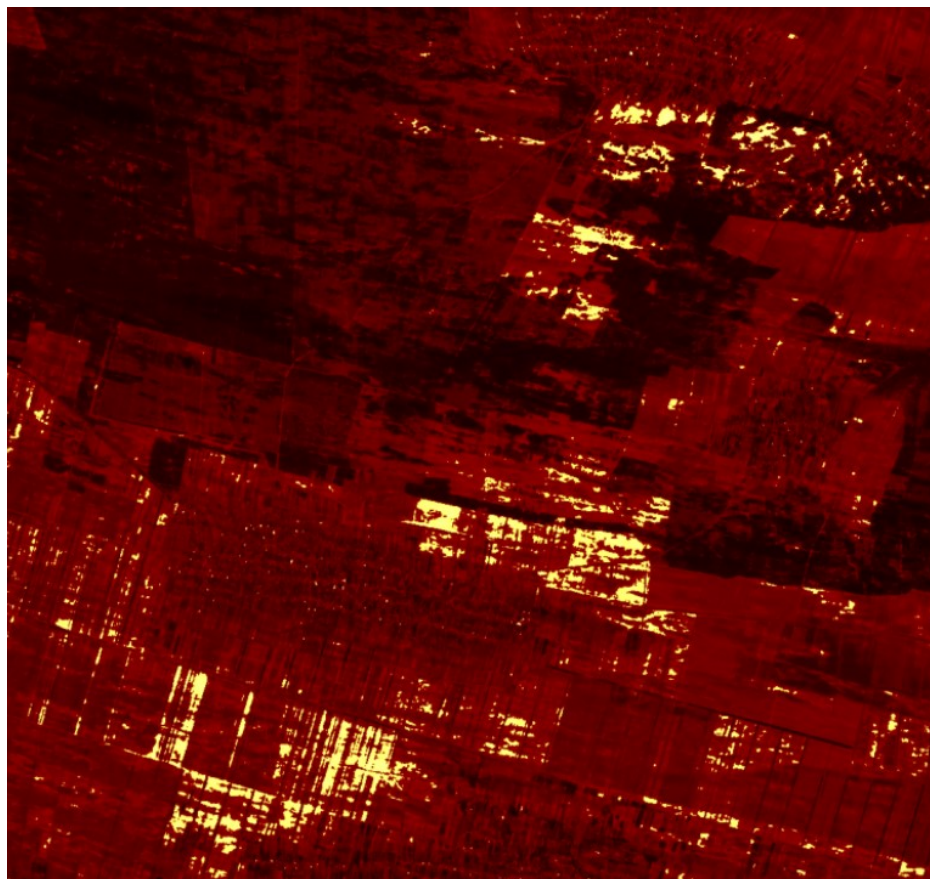


Figura 5.2: Crust index anul 2024 (Sentinel-2).

În Figura 5.2 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Crust Index** pentru anul **2024**. Aceasta are în componența sa un număr de 34.162 de pixeli deșertificați dintr-un total de 1.210.000, rezultând o mică creștere a numărului de pixeli deșertificați, ceea ce poate fi caracterizată de anumiți factori cum ar fi diferențele de lumină a fiecărei imagini utilizate pentru acest an, umiditatea solului și a vegetației care influențează foarte mult reflectanța luminii către satelit în mod diferit în funcție de lungimea de undă (banda spectrală). Putem observa că **localitățile** sunt reprezentate ca având un sol fertil asta accentuând că nu există zone deșertificate în acestea, ceea ce este relativ adevărat dacă ne uităm pe imaginea zonei de studiu, care este o unealtă optimă de comparație a rezultatelor, fiind o reprezentare vizuală clară a distribuției terenurilor și a utilizării acestora. Aceasta permite validarea, cel puțin vizual, a corectitudinii identificării zonelor deșertificare și să distingem între suprafețele agricole, naturale și cele locative. Astfel, imaginea zonei de studiu contribuie semnificativ la interpretarea corectă a indicilor calculați și la delimitarea precisă a zonelor afectate.

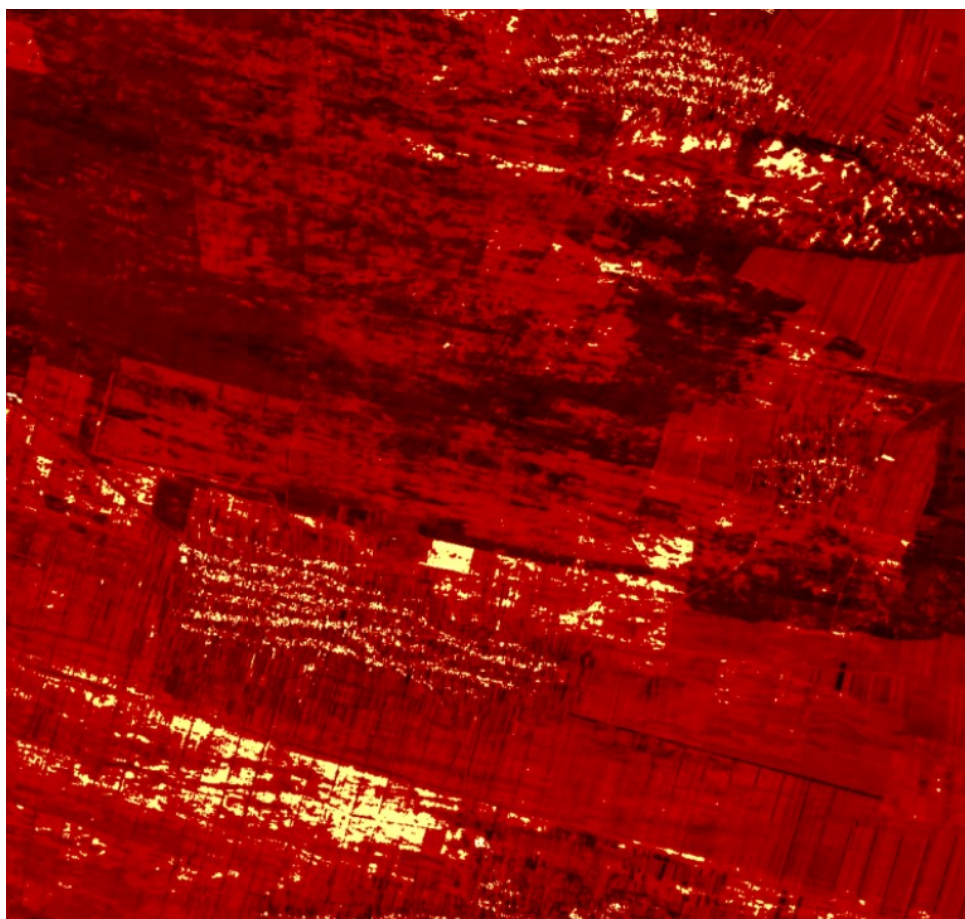


Figura 5.3: Bare Soil Index anul 2023 (Sentinel-2).

În Figura 5.3 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Bare soil index** pentru anul **2023**. Aceasta are în componența sa un număr de 41.095 de pixeli deșertificați dintr-un total de 1.210.000. Analizând același an folosind indicele Crust Index observăm că Bare Soil Index este mai afectată, fiind puțin mai mulți pixeli deșertificați în componența sa. Acest lucru se poate datora faptului că **zonele locative** sunt interpretate în acest caz ca fiind **zone deșertificate**, deși nu este cazul, deoarece indicele Bare Soil Index detectează acoperișurile caselor ca fiind suprafețe de sol gol și le clasifică ca fiind deșertificate. Acest efect este cauzat de reflectanța ridicată în benzile roșie și albastră și reflectanța redusă în banda NIR, caracteristici tipice pentru materialele de construcție (tablă, beton, țiglă), care sunt confundate spectral cu solul gol. Acest procentaj se poate considera o parte a erorii, deoarece duce la o supraestimare a suprafețelor deșertificate, afectând puțin precizia fenomenului real de degradate a solului în zonele locative.

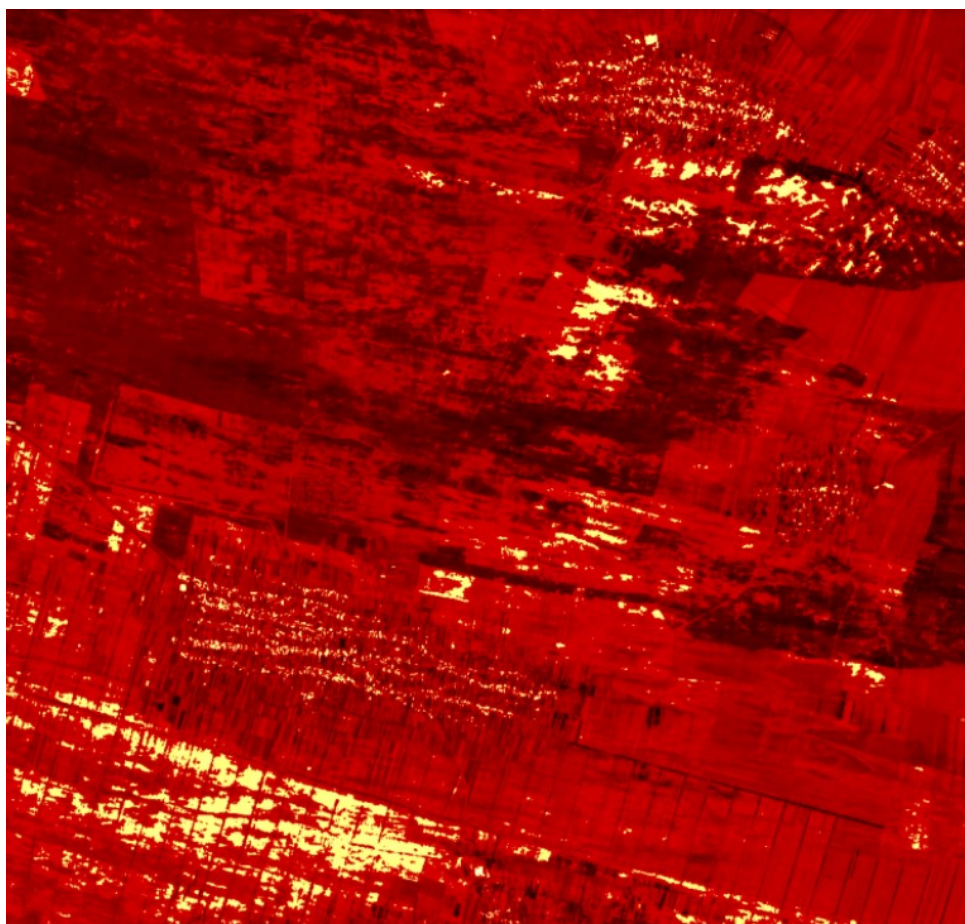


Figura 5.4: Bare Soil Index anul 2024 (Sentinel-2).

În Figura 5.4 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Bare soil index** pentru anul **2024**. Aceasta are în componența sa un număr de 48.494 de pixeli deșertificați dintr-un total de 1.210.000. Pentru acest rezultat putem observa aceiași traiectorie Bare Soil Index având un număr mai mare puțin de pixeli deșertificați decât Crust Index pentru același an.

Indice	2023	2024
Crust Index	2.41%	2.82%
Bare Soil Index	3.40%	4.01%

Tabela 5.1: Compararea procentajelor de deșertificare pentru CI și BSI.

În general, procentajele prezentate în Tabel 5.1 sunt apropiate, situându-se între 2.41% și 4.01%, existând o mică marjă de eroare în anumite cazuri. Putem exemplifica că media zonelor deșertificate ar fi de aproximativ 3% pentru anii analizați. Bare Soil Index oferind procentaje puțin mai mari în comparație cu Crust Index datorându-se localităților, care oferă o reflectanță ridicată și sunt confundate adesea cu **solul gol**. În general, putem observa o mică creștere a procentajului deșertificării în anul 2024 față de 2023 pentru ambii indici, indicând o tendință de extindere a fenomenului de **deșertificare** în zona studiată. Putem afirma că în ambii ani deși primim valori

diferite pentru indicii diferiți tendința este aceeași pentru ambii indici cea de creștere a procentajului zonelor deșertificate.

De asemenea, am aplicat metoda de detecție pentru indicele **Crust Index** pentru aceeași zonă de studiu dar pentru ani mai vechi cum ar fi **2020**, **2021**, **2022** folosind datele de pe platforma **Planet**, aceasta neavând banda de infraroșu cu undă scurtă (Swir), neputând folosi indicele Bare Soil Index în acest caz, deci am folosit doar indicele Crust Index pentru detecția **zonelor deșertificate**.

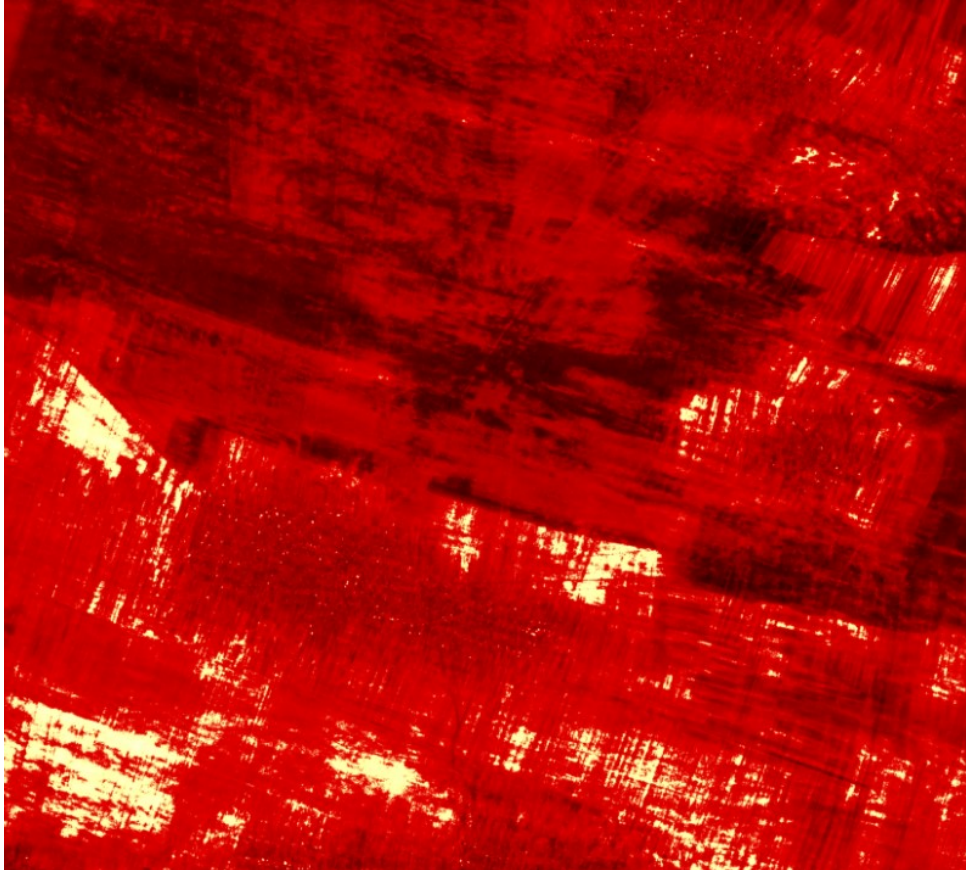


Figura 5.5: Crust Index anul 2020 (Planet Labs).

În Figura 5.5 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Crust index** pentru anul **2020** folosind imaginile satelitare furnizate de **Planet Labs**. Acest rezultat are în componența sa un număr de 593.635 pixeli din 12.424.941 pixeli totali deșertificați sau cu sol nefertil. Putem observa că numărul total de pixeli este unul mai mare decât cel folosind imaginile Sentinel-2 ceea ce accentuează că datele Planet Labs au o rezoluție spațială mai mare.

De asemenea, putem observa că rezultatele pentru imaginile Sentinel-2 oferă un **contrast** mai bun între zone, ceea ce permite o delimitare mai clară. Pe când rezultatele pentru imaginile Planet Labs fiind mai detaliate unele diferențe între zone se pierd. Deși Planet Labs are teoretic o rezoluție spațială mai mare (3-5 m) decât Sentinel-2 (10 m), nivelul detaliilor suplimentare poate conduce la pierderea uniformității în reprezentarea zonelor relevante, ceea ce face mai dificilă separarea clară a anumitor tipuri de suprafețe. Deci, pot spune că nu neapărat o rezoluție mai bună, ca în cazul imaginilor Planet pot oferi rezultate mai calitative, Sentinel-2 oferind detalii mai calitative, deși datele au o rezoluție mai mică.

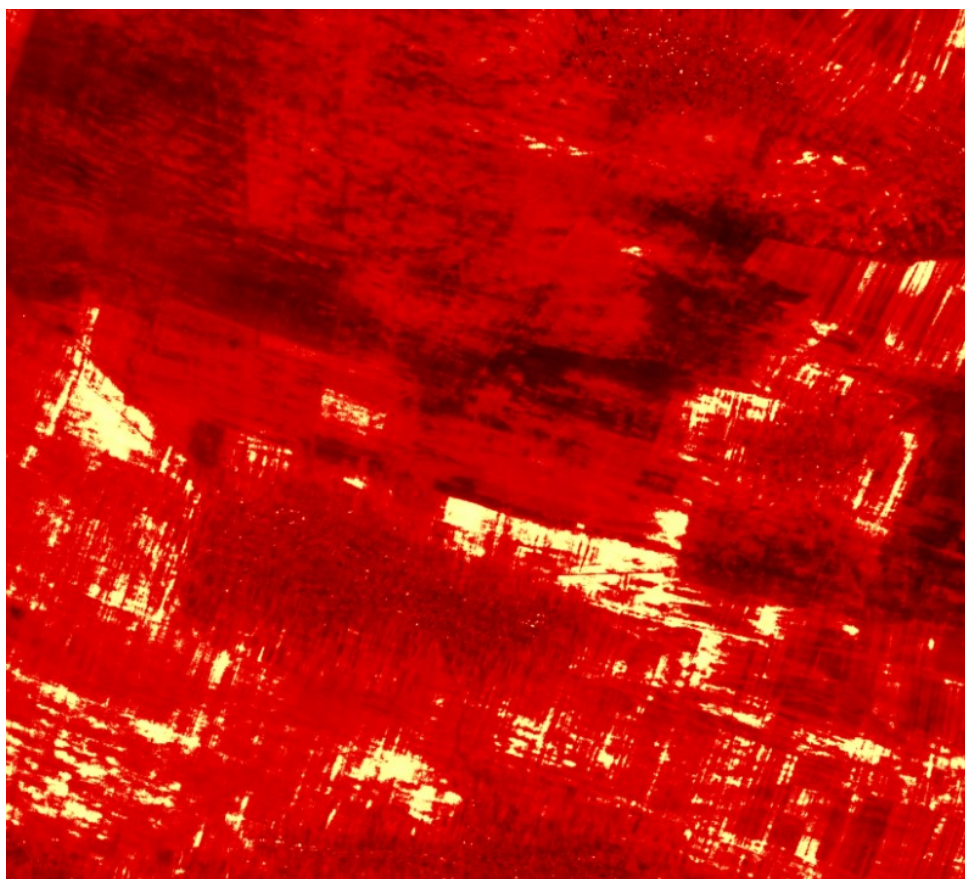


Figura 5.6: Crust Index anul 2022 (Planet Labs).

În Figura 5.6 este prezentat rezultatul obținut în urma aplicării algoritmului **Crust index** pentru anul **2022** folosind imaginile satelitare furnizate de **Planet Labs**. Acest rezultat are în componența sa un număr de 730.119 pixeli din 12.424.941 pixeli totali deșertificați sau cu sol nefertil. Se poate observa că zonele reliefate ca fiind deșertificate sunt același cu rezultatele anterioare și cu imaginea de studiu ceea ce reflectă corelația zonelor deșertificate.

Ca rezultate ale implementării indicelui Crust Index pentru datele de pe platforma Planet Labs am obținut imagini nu chiar atât de clare, asta sugerând că datele pot avea mai mult zgomot vizual din cauza ca este aplicat procesul de armonizare (Harmonize) și pot varia semnificativ între zile sau sateliți față de imaginile satelitare Sentinel-2 care sunt mult mai stabile. **Procentajul de deșertificare** în acești ani mai vechi fiind unul puțin mai mare cu 1-2% asta reliefând o mică diferență a folosirii diferitor surse de date, acestea având o rezoluție diferită și o altă metodă de a obține datele.

5.2 Compararea indicilor Bare Soil Index și Crust Index

Aspect	Crust Index	Bare Soil Index
Scop	Detectarea crustelor biologice	Detectarea solului gol
Benzi necesare	Red, Blue	Swir, Red, Nir, Blue
Numărul de benzi	2 benzi	4 benzi
Context	Zone aride/semi-aride	Zone agricole, urbane, naturale
Diferențiere	Cruste vs. sol gol	Sol gol vs. vegetație
Limitări	Specific crustelor biologice	Confuzie pentru localități
Stabilitate	Stabil în multe cazuri	Instabil adesea
Ușurință în calcul	Simplu, rapid	Puțin mai greu

Tabela 5.2: Rezumat comparativ între Crust Index și Bare Soil Index.

Indicii Crust Index și Bare Soil Index deși au același scop, acela de a detecta **zonele deșertificate** de pe teritoriul României, au anumite diferențe în implementare și în rezultatele obținute, câteva dintre acestea fiind reprezentate în Tabel 5.2. Indicele Crust Index folosește două benzi spectrale cea roșie(Red) și albastră(Blue) iar indicele Bare Soil Index folosește 4 benzi spectrale roșie(Red), albastră(Blue), infraroșu(Nir) și infraroșu cu undă scurtă(Swir).

Crust Index se axează pe o caracteristică spectrală a **crustei biogenă** din sol care s-a demonstrat că pigmentul special de ficobilină din cianobacterii contribuie la producerea unei reflectanțe relativ mai mari în regiunea spectrală albastră decât același tip de substrat fără crustă biogenică permițând astfel identificarea și cartografierea zonele cu început de deșertificare, unde crustele biogenice încă oferă o anumită protecție împotriva eroziunii solului. Bare Soil Index se bazează pe contrastul spectral dintre **reflectanța solului gol** și cea a vegetației sau a altor acoperiri a solului. Acest indice evidențiând în principal solul gol neacoperit de nimic ceea ce este o caracteristică principală a zonelor deșertificate, având valori mai mari acolo unde vegetația lipsește sau e foarte puțină, permițând astfel identificarea zonelor cu sol gol și evidențiând în principal părțile solului în degradare și deșertificare. Deși zonele puternic deșertificate și afectate de degradarea solului sunt reprezentate foarte bine de ambii indici, există unele diferențe în anumite cazuri specifice cum ar fi localitățile din zona de studiu, care sunt reprezentate în rezultatele obținute cu indicele Bare Soil Index ca având în componență zone deșertificate, aceasta fiind o confuzie a indicelui BSI care detectează zone cu sol gol, ceea ce detectează el în localități fiind strazile și acoperișurile locuințelor ce le caracterizează ca fiind zone goale adică deșertificate ceea ce intră în procentajul de eroare a indicelui. În același timp indicele Crust Index se diferențiază

mult în acest caz, acesta bazându-se pe crustele biologice de pe sol nu are nimic cu localitățile și în acest caz detectează aceste zone locative ca fiind zone normale nedesertificate. În corcondanță cu această diferență putem observa și în Tabel 5.1, că procentajul desertificării pentru anul 2023 pentru indicele Crust Index este de 2.41%, în timp ce pentru același an aplicând indicele Bare Soil Index în Tabel 5.1 avem un procentaj de 3.40%, ceea ce reprezintă în mare parte adăugarea erorii localităților pentru indicele BSI.

Indicele Crust Index este mai simplu în implementare și în necesitățile pe care le solicită, fiind necesare doar **2 benzi spectrale** Red (banda 4) și Blue (banda 2) ceea ce scade cu mult volumul de date pentru obținerea unui rezultat valid fiind un avantaj clar comparând cu indicele Bare Soil Index care necesită **4 benzi spectrale**, în plus fiind Nir (banda 8) și Swir (banda 10) fiind nevoie de foarte multe benzi spectrale adunate pentru un rezultat valid adică pentru 9 luni al unui an.

Volumul mare de date a reprezentat o dificultate semnificativă, întrucât benzile spectrale individuale consumă foarte mult spațiu de stocare, fiecare scenă completă având sute de megabytes. Acest lucru a limitat procesul de analiză la o singură zonă de studiu. Testarea diferitelor metode (inclusiv mai mulți indici spectrali) și generarea rezultatelor finale au dus la procesarea unui volum total de aproximativ 100 GB de date multispectrale. În plus, timpul de prelucrare a datelor a fost de asemenea un factor important, fiind destul de complex procesul de achiziționare a datelor finale în baza de date.

Indicele Crust Index este mai stabil în multe cazuri ale implementării și mai exact în setarea pragului folosit pentru delimitarea zonelor desertificate de celelalte, deoarece folosește mai puține benzi este mai ușor ales un prag și nu mai sunt implementate diferite tehnici de selectare a pragului ca în cazul indicelui Bare Soil Index, care este destul de complex în alegerea pragului folosit pentru fiecare rezultat, uneori metoda de alegere a pragului fiind diferită pentru a obține un rezultat cât mai bun și optim cu realitatea.

Un alt aspect important este comportamentul sezonier. BSI este mai sensibil la **variațiile sezoniere** ale vegetației, putând supraestima desertificarea în lunile sece-toase, când vegetația este minimă. CI, fiind bazat pe crustele biologice, este mai puțin afectat de aceste variații sezoniere.

Totodată, CI este mai robust în fața zgomotului spectral din imaginile satelitare, deoarece implică mai puține benzi, reducând astfel incertitudinea în rezultate. BSI, prin complexitatea sa spectrală, poate fi mai afectat de factori perturbatori precum aerosoli, nori sau variații atmosferice.

Capitolul 6

Aspecte Legale, Etice, Sociale și Profesionale (LESP)

În realizarea acestei lucrări, care implică folosirea imaginilor satelitare provenite de la Sentinel-2 și PlanetScope (Planet Labs), au fost luate în considerare toate aspectele legale, etice, sociale și profesionale aferente utilizării datelor geospațiale și interpretării acestora.

6.1 Aspecte legale

- **Dreptul de utilizare a datelor satelitare.**

Datele Sentinel-2 sunt furnizate de Agenția Spațială Europeană (ESA) și sunt disponibile sub licență open-access, în cadrul programului Copernicus, permițând descărcarea, utilizarea, modificarea și redistribuirea gratuită.

În schimb, datele PlanetScope sunt proprietatea companiei Planet Labs și pot fi utilizate doar în baza unei licențe comerciale sau academice. În cadrul acestei lucrări, imaginile Planet au fost accesate prin API-ul oficial oferit de către Universitatea de Vest din Timișoara pentru educație, respectând condițiile de utilizare impuse, adică neutilizarea imaginilor la rezoluția întreagă a acestor imagini.

- **Protecția datelor cu caracter personal.**

Deși datele satelitare nu conțin informații direct identificabile despre persoane, corelarea acestora cu alte surse (ex: baze de date agricole, informații cadastrale) poate duce la identificarea indirectă a unor locații sau proprietari. În această lucrare nu s-au utilizat astfel de date suplimentare.

6.2 Aspecte etice

- **Transparența și corectitudinea analizei**

Toate etapele de prelucrare a imaginilor (corecții atmosferice, calcul de indici, armonizare între senzori) au fost documentate și aplicate în mod transparent.

- **Armonizarea surselor de date**

Pentru a evita erori cauzate de diferențele dintre senzori, imaginile Planet au

fost armonizate față de Sentinel-2 folosind opțiunea harmonize oferită de Planet API.

- **Respectarea surselor și atribuirea corectă**

Toate sursele bibliografice, codurile sau resursele open-source utilizate au fost menționate corespunzător în bibliografie.

6.3 Aspecte sociale

- **Impactul potențial asupra comunităților**

Rezultatele studiului pot evidenția degradarea solului, reducerea vegetației sau alte schimbări de mediu cu impact social direct, mai ales în zonele rurale. Concluziile trebuind prezentate cu grijă, pentru a nu crea o imagine negativă despre anumite zone.

- **Contribuție la luarea deciziilor**

Studiul poate oferi informații utile pentru autorități locale, ONG-uri sau fermieri, contribuind la luarea deciziilor legate de gestionarea durabilă a terenurilor sau adaptarea la schimbările climatice.

6.4 Aspecte profesionale

- **Competență și integritate**

Pe parcursul lucrării, au fost respectate principiile de integritate academică. Nu s-a recurs la plagiat, iar metodele utilizate sunt conforme cu bunele practici din domeniul analizei geospațiale.

- **Dezvoltarea competențelor profesionale**

Utilizarea platformelor precum Sentinel Hub, Planet API, Google Maps și a unor biblioteci Python (ex: NumPy, OpenCV, Matplotlib) contribuie la formarea profesională în domeniul analizei spațiale și teledetecției.

Concluzie

Prin respectarea aspectelor legale, etice, sociale și profesionale, această lucrare oferă un cadru responsabil și riguros pentru utilizarea datelor satelitare Sentinel-2 și PlanetScope, contribuind la generarea de cunoștințe utile și care pot fi refăcute de alți cercetători, în contextul monitorizării mediului și utilizării terenurilor.

Capitolul 7

Concluzii și direcții viitoare

7.1 Concluzii

Această teză a abordat identificarea și implementarea de metode de detecție a zonelor deșertificate de pe teritoriul României pentru a observa care ar fi modul cel mai optim de a folosi benzile multispectrale și formulele indicilor. Am demonstrat că metodele testate au o importanță în detecția zonelor deșertificate și că pot fi folosite într-un mod optim pentru a observa cum evoluează zonele de studiu și a nu se ajunge la extinderea necontrolată a zonelor cu sol deșertificat.

7.2 Direcții viitoare

Pe baza rezultatelor acestei cercetări, studiul se poate extinde spre rezultate pentru ani mai vechi pentru a vedea evoluția solului deșertificat. De asemenea, poate fi implementat pe viitor și un proces de alegere a indicelui optim pentru fiecare imagine multispectrală în funcție de anumite criterii, care ar îmbunătăți întregul proces.

Bibliografie

- [1] *Normalized Sand Index for Identification of Bare Sand Areas in Temperate Climates Using Landsat Images, Application to the South of Romania.* <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/15/3802>.
- [2] *Normalized Difference Enhanced Sand Index for desert sand dunes detection using Sentinel-2 and Landsat 8 OLI data, application to the north of Figuig, Morocco.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196321002597>.
- [3] *Assessing the Recent Trends of Land Degradation and Desertification in Romania Using Remote Sensing Indicators.* <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/19/4842>.
- [4] *Multi-Temporal Analysis and Trends of the Drought Based on MODIS Data in Agricultural Areas, Romania.* <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/23/3940#>.
- [5] *JFAE(Food and Health) Vol3-1 (2005).* https://www.researchgate.net/publication/288362441_Using_remote_sensing_technology_to_detect_model_and_map_desertification_A_review.
- [6] *Barest Pixel Composite for Agricultural Areas Using Landsat Time Series* by Sanne Diek, Fabio Fornallaz, Michael E. Schaepman and Rogier De Jong. <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/12/1245>.
- [7] *Rikimaru, A.; Roy, P.S.; Miyatake, S. Tropical forest cover density mapping. Trop. Ecol. 2002, 43, 39–47.* <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=076b1060b928d1bf7a4ae1107ec82b291867c61e>.
- [8] *Bare soil detecting algorithms in western iran woodlands using remote sensing; Hossein Panahi, Zahra Azizi, Hadi Kiadaliri, Seyed Ali Almodaresi, Hossein Aghamohamadi.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000340#bbib0010>.
- [9] *A. Karnieli (1997) Development and implementation of spectral crust index over dune sands, International Journal of Remote Sensing.* <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014311697218368>.
- [10] *An Analysis of Bare Soil Occurrence in Arable Croplands for Remote Sensing Topsoil Applications; Nada Mzid, Stefano Pignatti, Wenjiang Huang, Raffaele Casa.* <https://doi.org/10.3390/rs13030474>.
- [11] *The European Space Agency.* <https://www.esa.int/>.

- [12] *Fundamentals of Remote Sensing*. https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf.
- [13] *stac-fastapi - UVT*. <https://browser.sage.uvt.ro/#/?language=en>.