

PN-III-P1-1.1-PD-2021-0082

ABORDARE INTEGRATĂ BAZATĂ PE TEHNICI DE TELEDETECTIE ȘI GIS PENTRU CARTOGRAFIEREA ȘI MODELAREA EROZIUNII SOLULUI IN ROMÂNIA



Contract PD 18/2022

Raport științific final

2024

Echipa de proiect:

Director de proiect: Lector univ. dr. Marina-Ramona VÎRGHILEANU

Mentor: Prof. univ. dr. Bogdan-Andrei MIHAI

Cuprins

I. Rezumatul executiv al obiectivelor, activităților și rezultatelor, prevăzute și îndeplinite	3
II. Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei a 2-a și a gradului de realizare al obiectivelor	4
Activitatea 2.1. Testarea aplicabilității a diferiți senzori liberi de teledetecție pentru detectarea automată a repartiției spațiale și a nivelului de intensitate al eroziunii solului, în zone test, prin folosirea unor tehnici variate, precum: clasificare tematică pe baza unor algoritmi de machine learning, indici radiometrici și biofizici ce reflectă relația dintre acoperirea terenurilor și eroziunea solurilor;	4
Activitatea 2.2. Evaluarea integrării unor date derivate de teledetecție și a algoritmilor de procesare pentru cartografierea eroziunii solurilor prin tehnici de data mining: date de la o singură sursă vs. multi-sursă; imagini de la un singur moment vs. imagini în serie de timp; clasificare tematică vs. indici radiometrici și biofizici;	7
Activitatea 2.3. Definirea pragurilor pentru clasele de intensitate a eroziunii solurilor, pe baza datelor de teledetecție și a măsurătorilor în teren;	10
Activitatea 2.4. Definirea și validarea unui flux de lucru pentru cartografierea repartiției spațiale și a intensității eroziunii solurilor la nivelul unor zone test (locale) din regiuni temperate din România, bazate pe integrarea unor date derivate de teledetecție;	10
Activitatea 2.5. Analiza geospațială și geostatistică a relației dintre acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor, cu privire specială asupra: -implicațiilor schimbării acoperirii/utilizării terenurilor asupra eroziunii solurilor; - relației dintre proprietățile biofizice și reflective ale acoperirii/utilizării terenurilor și gradele de intensitate a eroziunii solurilor;	12
Activitatea 2.6. Analiză comparativă între metodologiile bazate de GIS și teledetecție pentru evaluarea, cartografierea și prognoza eroziunii solurilor;	17
Sumar al rezultatelor etapei a doua (01/01/2024 – 31/12/2024)	20
III. Activități de diseminare și management al proiectului (01/01/2023-31/12/2024)	21
Diseminarea rezultatelor prin participarea la conferințe științifice (Activitatea 2.7)	21
Diseminarea rezultatelor prin articole științifice (Activitatea 2.8)	22
Managementul proiectului (Activitatea 2.9)	22
Sumar al indicatorilor de rezultat planificați și realizați (01/01/2023 – 31/12/2024)	23
IV. Impactul estimat al rezultatelor obținute	23
Referințe bibliografice	25

I. Rezumatul executiv al obiectivelor, activităților și rezultatelor, prevăzute și îndeplinite

Scopul proiectului RS4SOIL este de a *cartografia, modela și prognoza eroziunea solurilor pentru regiuni temperate din România, printr-o abordare integrată bazată pe tehnici de teledetecție și GIS*.

În vederea atingerii acestui scop, cercetarea a fost organizată în jurul a *șase obiective*, astfel:

- 1) fundamentarea științifică a problematicei eroziunii solurilor bazată pe literatura internațională și națională, în vederea pregătirea unui bagaj conceptual și metodologic necesar atingerii scopului proiectului;
- 2) adaptarea metodologiilor pentru evaluarea eroziunii potențiale a solurilor bazate pe date GIS și de teledetecție la condițiile locale și la datele disponibile, precum și standardele naționale emise de ICPA (Institutului de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie București) în privința clasificării eroziunii solurilor;
- 3) detectarea schimbărilor spațio-temporale ale potențialului de eroziune a solurilor în ultimii 35 de ani, în raport cu evoluția factorilor dinamici ce controlează aceste procese;
- 4) predicția ratelor potențiale de eroziune a solurilor în contextul modificării acoperirii/utilizării terenurilor, ca instrument de decizie pentru prevenția și gestionarea eroziunii solurilor și adoptarea soluțiilor sustenabile pentru utilizarea resurselor de sol;
- 5) Evaluarea aplicabilității imaginilor satelitare recente pentru cartografierea proceselor de eroziune a solurilor în zone test din regiuni temperate, prin folosirea unor tehnici de data mining;
- 6) Evaluarea relației dintre acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor, pe baza abordărilor integrate de teledetecție, GIS și observații in-situ.

Activitățile desfășurate în cadrul proiectului pentru ducerea la îndeplinire a obiectivelor proiectului au fost organizate în două etape distincte (conform planului de realizare): *etapa 1 (01/01/2023-31/12/2023) care a vizat îndeplinirea obiectivelor 1, 2, 3 și 4* printr-un număr de 13 activități, și *etapa a 2-a (01/01/2024 – 31/12/2024) care a vizat îndeplinirea obiectivelor 5 și 6* printr-un număr de 9 activități.

În **etapa 1 (2023)**, activitățile au fost organizate în trei pachete de lucru, după cum urmează: fundamentarea științifică a temei (activitățile 1.1 - 1.4), cartografierea arealelor susceptibile la procesele de eroziune a solurilor la diferite momente temporale, pe baza factorilor statici și dinamici, analiza schimbării ratelor potențiale de pierdere de sol pe o perioadă de 35 de ani și predicția ratelor potențiale de pierdere de sol în raport cu evoluția factorilor dinamici (activitățile 1.5 - 1.13), diseminarea rezultatelor prin participări la conferințe internaționale și site-ul proiectului (activitățile

2.7, 2.9). Acestea au fost descrise în cadrul raportului științific al etapei 1, disponibil pe site-ul proiectului, iar **toate obiectivele aferente au fost îndeplinite**. Rezultatele așteptate ale primei etape au fost realizate: a) fundamentarea științifică, teoretică și tehnică a temei de cercetare; b) bază de date geospațială privind eroziunea solurilor, ce cuprinde date obținute din măsurători în teren, straturi de date în format vector sau raster reprezentând factorii statici și dinamici ai eroziunii solurilor, seturi de date grid și hărți referitoare la eroziunea potențială a solurilor la diferite momente; c) flux de lucru pentru modelarea eroziunii potențiale a solurilor în România; d) participarea la patru conferințe internaționale.

În **etapa a 2-a (2024)**, activitățile au fost structurate în trei pachete de lucru, astfel: explorarea datelor de teledetecție pentru cartografierea eroziunii solurilor (activitățile 2.1-2.4), analiza relației dintre acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor (activitățile 2.5-2.6) și diseminarea rezultatelor și managementul proiectului (activitățile 2.7-2.9). **Toate obiectivele au fost îndeplinite, realizându-se rezultatele așteptate:** a) hărți și seturi de date geospațiale ale repartiției spațiale și nivelului de intensitate a procesului de eroziune a solurilor pentru zone test, obținute prin utilizarea datelor de teledetecție; b) flux de lucru (metodologie) pentru cartografierea eroziunii solurilor pe baza datelor de teledetecție în regiuni temperate; c) caracterizarea spațială și statistică a relației dintre schimbările în acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor; c) participarea la patru conferințe internaționale; d) 1 articol publicat în *European Journal of Soil Science* – Wiley (indexată Q1 conform JRC) și 1 articol în evaluare la *CATENA* - Elsevier (indexată WOS Q1 conform JRC).

În continuare, vor fi prezentate activitățile declarate în planul de realizare al proiectului pentru etapa a 2-a (01/01/2024-31/12/2024).

II. Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei a 2-a și a gradului de realizare al obiectivelor

Etapa a 2-a a proiectului (01/01/2024 – 31/12/2024):

Cartografierea eroziunii solurilor pe baza tehnicilor de teledetecție și analiza relației dintre acoperire/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor

Activitatea 2.1. Testarea aplicabilității a diferiți senzori liberi de teledetecție pentru detectarea automată a repartiției spațiale și a nivelului de intensitate al eroziunii solului, în zone test, prin folosirea unor tehnici variate, precum: clasificare tematică pe baza unor algoritmi de machine learning, indici radiometrici și biofizici ce reflectă relația dintre acoperirea terenurilor și eroziunea solurilor;

Utilizarea imaginilor de teledetecție în detectarea, cartografierea și modelarea eroziunii solurilor reprezintă o direcție emergentă, cu aplicabilitate practică în monitorizarea mediului și în managementul terenurilor, în contextul în care, în prezent, imaginile satelitare constituie principala sursă de date obiective, colectate cu frecvență ridicată și la rezoluții din ce în ce mai mari, ce permit cartografierea cu precizie ridicată.

Scopul acestei activități a fost de a testa aplicabilitatea unor imagini satelitare de diferite tipuri, disponibile liber, în detectarea, cartografierea și modelarea eroziunii solurilor sub acțiunea apei. În acest sens, analizele noastre au vizat două obiective secundare:

- Extragerea directă din imagini satelitare a arealelor afectate de eroziune;
- Utilizarea imaginilor satelitare pentru modelarea factorului de acoperire a terenurilor, unul dintre cei mai dinamici factori folosiți în modelele de evaluare a eroziunii solurilor;

În acest sens, au fost testate mai multe categorii de imagini, disponibile liber, astfel:

- imagini satelitare Landsat (5 TM, 7 ETM+ și 8/9 OLI), cu rezoluție spațială de 30 m, dar cu o arhivă longevivă care acoperă o perioadă de 40 de ani (1984-2024), utilă în analiza componentei dinamice a eroziunii solurilor;

- imagini satelitare Sentinel-2 MSI, cu rezoluție spațială de până la 10 m și frecvența de colectare de 5 zile, disponibile pentru perioada 2015-2024;

- imagini satelitare Sentinel-1 SAR, cu rezoluție spațială de până la 10 m sunt mai utile în identificarea și interpretarea unor forme de eroziune torențială (rigole, ogașe, ravene, torenți). Pentru cartografierea eroziunii prin spălare în suprafață, Sentinel-1 SAR poate crește acuratețea rezultatelor atunci când este fuzionat cu informație spectrală (Sentinel-2 MSI);

- imagini satelitare KH9 Hexagon, cu rezoluție spațială de 9 m, din anul 1977;

- imagini aeriene RGB, colectate cu drona Mavic 3E, cu rezoluții de până la 1 cm, colectate în campaniile de teren, în diferite zone test. Rolul acestora a fost de a cartografia zonele de interes pentru antrenarea algoritmilor și de validare a rezultatelor obținute prin procesare digitală.

Au fost testate și comparate tehnici variate de analiză, precum clasificările tematice de pixeli sau de obiecte, bazate pe algoritmi de Machine Learning și indicii spectrali și biofizici. Rezultatele obținute sunt prezentate sintetic în tabelul 1:

Tabelul 1. Tehnici de obținere a datelor pentru eroziunea solurilor din imagini satelitare.

Obiectiv	Abordare	Utilitate în analiza eroziunii solurilor	Limitări
Extragerea terenurilor afectate de eroziune din imagini de teledetecție	Clasificarea tematică (de pixeli sau de obiecte)	- permite detectarea / izolarea clasei de terenuri degradate, fără covor vegetal sau a terenurilor expuse în fața proceselor de eroziune prin spălare în suprafață; - oferă o imagine de ansamblu asupra repartiției spațiale a acestor terenuri și a suprafețelor acestora, necesară prioritizării activităților de intervenție;	- nu se poate face o distincție clară între terenurile afectate de eroziune (prin pierderea orizontului superior de sol) și terenurile degradate prin alte tipuri de procese (ex. alunecări de teren); - pot exista confuzii între terenurile degradate/expuse eroziunii în suprafață și alte terenuri fără covor vegetal (stâncării, albie de râu, cariere de exploatare a rocilor, terenuri arabile în afara perioadei vegetative a culturilor), ca urmare a similitudinilor spectrale între aceste clase; - detectarea intensității eroziunii pe terenurile identificate ca terenuri degradate și/sau erodate este dificil de realizat, întrucât în imaginile optice este înregistrat răspunsul spectral al obiectelor de la suprafața terenului, iar intensitatea

			eroziunii are legătură cu grosimea orizontului superior de sol (A), ce nu poate fi detectată din satelit; - oferă o imagine doar asupra terenurilor aflate într-un stadiu avansat de degradare/erodare, pe care vegetația nu se mai poate dezvolta ca urmare a lipsei orizontului superior de sol, bogat în materie organică și humus, însă eroziunea solurilor este un proces care are loc și sub covor vegetal, dacă acesta oferă o protecție scăzută la impactul prin picăturile de ploaie;
Utilizarea imaginilor de teledetecție pentru estimarea factorului de acoperire a terenurilor, parametru important în modelarea eroziunii solurilor	Clasificarea tematică (de pixeli sau de obiecte)	- permite cartografierea tipurilor de acoperire și de utilizare a terenurilor, unul dintre cei mai dinamici factori ai eroziunii solurilor, cu impact semnificativ asupra pierderilor anuale de sol, rezultând într-un stat geospațial privind clasele de acoperire ce pot fi clasificate ulterior după gradul de protecție pe care îl oferă solului în fața impactului picăturilor de ploaie; - algoritmi Support Vector Machine (SVM) și Random Forest (RF) au oferit cele mai mari acurateți ale clasificărilor de pixeli (peste 85%);	- rezultatele sunt dependente de rezoluțiile spațială și spectrală a imaginilor; - algoritmi necesită antrenare pe seturi de date de referință, colectate anterior; - grad ridicat de subiectivism, având în vedere că antrenarea algoritmului se face pe baza unui set de eșantioane creat prin interpretare vizuală și pe baza observațiilor de teren; - rezultatul este puternic influențat de caracteristicile imaginilor – rezoluția spațială, spectrală și radiometrică (Fig. 1), precum și de algoritmul folosit (Fig. 2).
	Indici spectrali și biofizici	- reflectă relația dintre acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor; - permit cartografierea cu acuratețe ridicată a factorilor de acoperire a terenurilor cu vegetație (factorul C al ecuației RUSLE) și managementul terenurilor (factorul P al ecuației RUSLE), înregistrând variațiile acestora, spațiale (în cadrul unei anumite clase de vegetație) și temporale (la nivel lunar, sezonier, intra-anual);	- sunt influențați de starea de sănătate a vegetației verzi și de stadiul de dezvoltare (Ex. NDVI, SAVI, fCover, LAI); - sunt influențați de momentul din an în care este preluată imaginea, prin urmare, pentru a obține rezultate cu acuratețe ridicată, este necesară utilizarea mai multor imagini din perioade diferite (Fig. 3);



Fig. 1. Capturi privind rezultatele clasificărilor tematice a acoperirii terenurilor cu izolarea clasei fără acoperire vegetală, pe platoul Bucegi, pe baza unor imagini si abordări diferite: 1977 (imagine KH Hyperion, clasificare orientată obiect), 2003 (imagine Landsat 7 ETM+, clasificare de pixeli), 2020 (imagine Sentinel-2 MSI, clasificare orientată obiect). Acestea au fost folosite în vederea estimării factorului C al ecuației RUSLE, iar materialul a fost prezentat la simpozionul EarSel în iunie 2024.

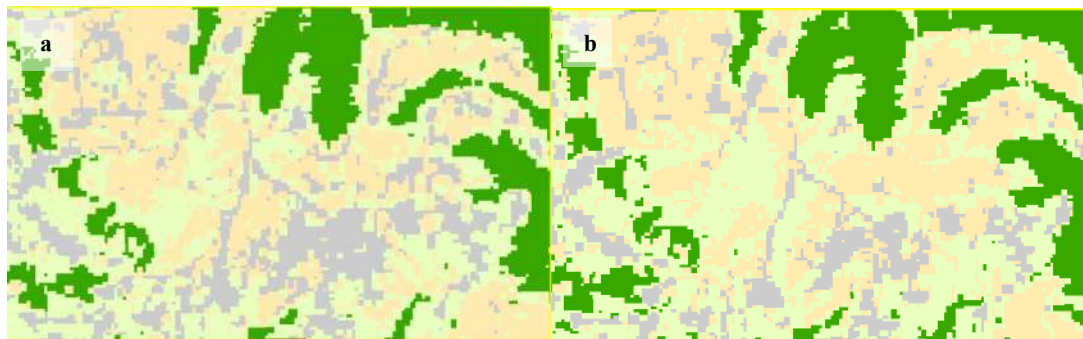


Fig. 2. Clasificări de pixeli pe imagini satelitare Sentinel-2 MSI (2023) în Dealul Țintea, prin utilizarea algoritmilor Support Vector Machine (a) și Random Forest (b), unde au fost extrase 4 clase de acoperire: pădure (verde închis), asociații de arbori, tufărișuri și pășuni (verde deschis), pășuni (portocaliu) și teren fără vegetație (gri).

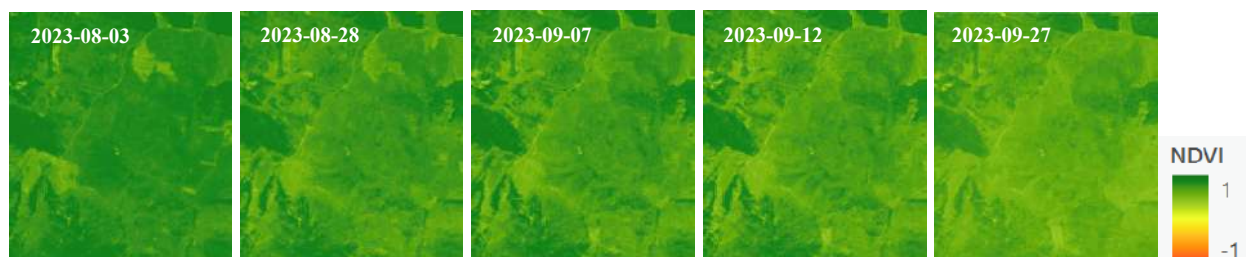


Fig. 3. Variația indicelui NDVI calculat pe baza imaginilor Sentinel-2 MSI în perioada august-septembrie 2023, indicând o descreștere treptată a statusului vegetației verzi, ceea ce indică o scădere a protecției oferită solului de către vegetație. Acest lucru indică faptul că folosirea unei singure imagini pentru estimarea unui indice de vegetație care să fie utilizat în modelarea și cartografierea terenurilor afectate de eroziune, va introduce incertitudini în model.

Activitatea 2.2. Evaluarea integrării unor date derivate de teledetecție și a algoritmilor de procesare pentru cartografierea eroziunii solurilor prin tehnici de data mining: date de la o singură sursă vs. multi-sursă; imagini de la un singur moment vs. imagini în serie de timp; clasificare tematică vs. indici radiometrici și biofizici;

Acoperirea/utilizarea terenurilor reprezintă o componentă cheie în cartografierea și modelarea eroziunii solurilor, fiind considerat unul dintre cei mai dinamici factori care influențează procesul de eroziune. Aceasta este dependent de stagiul dezvoltării vegetației (Marcinkowski et al., 2022), dar și de activitățile umane. În același timp, acesta joacă un rol critic în controlul și prevenirea proceselor de eroziune, întrucât servește ca o barieră împotriva dezintegrării particulelor de sol în urma precipitațiilor. În același timp, vegetația scade temperatura solului și crește conținutul de apă din sol (Ni et al., 2019).

Având în vedere posibilitățile de estimare și calculare a factorului privind acoperirea și utilizarea terenurilor (clasificări, indici spectrali și biofizici) și a faptului că acesta este foarte dependent de stagiul de dezvoltare al plantelor, variind de la o lună la alta, și de la un sezon la altul, este important ca în abordarea privind cartografierea acestuia să se folosească imagini de la mai multe momente de timp. A estima cu acuratețe ridicată a factorului privind acoperirea terenurilor cu vegetație este deosebit de util pentru estimarea cu precizie a potențialului de eroziune și pentru adoptarea politicilor și luarea deciziilor de către autorități sau fermieri în vederea adoptării unor soluții sustenabile de utilizare a terenurilor și prevenirii pierderilor de sol.

Din acest motiv, în cadrul ecuației empirice RUSLE - *Revised Universal Soil Loss Equation* (Renard et al., 1997), cea mai folosită ecuație empirică la nivel global pentru estimarea potențialului de eroziune a solului sub acțiunea apei, factorul privind acoperirea terenurilor (cunoscut ca factorul C) este considerat și principala sursă de incertitudini (Estrada-Carmona et al., 2017). Cercetările recente arată că nu există un model robust de estimare a factorului C (Xiong et al., 2023), acesta variind considerabil în funcție de zonele climatice, tipuri de acoperiri și utilizări ale terenurilor și adoptarea unor practici - suport pentru controlul și prevenția eroziunii (Ebabu et al., 2022). Factorul C din RUSLE este adimensional și variază între 0 și 1, unde 0 înseamnă o bună protecție a solului împotriva eroziunii, iar 1 este asociat terenurilor arabile fără vegetație cu arătura în direcția pantei.

Sinterizăm că la nivel global există trei abordări principale privind determinarea factorului C al eroziunii solurilor:

- a) Utilizarea unui set de date cu clasele de acoperire / utilizare a terenurilor, generat anterior din imagini satelitare prin clasificări supervizate de pixeli (Jazouli et al., 2019; Minervino Amodio et al., 2023) sau de obiecte, sau preluat din seturi de date produse la nivel global (Globe-land), continental (ex. CORINE Land Cover) (Ediș et al., 2023) sau național (Patriche, 2023) și atribuirea unei valori empirice, unice, fiecărei clase de acoperire. Această abordare este cea mai folosită la nivel global, însă nu înregistrează variabilitatea spațială și temporală a factorului C.
- b) A doua abordare presupune utilizarea unui indice spectral sau biofizic determinat din imagini satelitare, preluate de la un moment temporal sau o medie a mai multor imagini dintr-un sezon de vegetație. În această abordare, deși ajută la identificarea variabilității spațiale în cadrul unei clase de acoperire a terenurilor (Ayalew, 2020), rezultatul este puternic influențat de stadiul dezvoltării vegetației la momentul preluării imaginii, deci nu ține cont de variabilitatea temporală / intra-anuală a acestuia.
- c) A treia abordare are rolul de a îmbunătăți metodologia din abordarea a doua, prin capturarea variabilității spațiale (în interiorul unei clase de acoperire) și temporale (lunare, sezoniere, intra-aniuale), prin utilizarea imaginilor în serii de timp.

Unul dintre obiectivele activității a fost cartografierea acoperirii terenurilor și extragerea terenurilor degradate din imagini de teledetecție pe baza clasificărilor de pixeli. În acest sens, au fost testate mai multe abordări, privind utilizarea unei imagini de la un moment temporal, de la mai multe momente temporale, utilizarea imaginilor multi-sursă, cu și fără indici spectrali asociați. Cele mai bune rezultate în ceea ce privește izolarea cu acuratețe ridicată a tipurilor de acoperire complexe și eterogene din arealul subcarpatic, unde sunt frecvent erori de clasificare ca urmare a răspunsului spectral similar al mai multor categorii de acoperire a terenurilor, au fost obținute prin utilizarea: i) unui stack de imagini multi-dată Sentinel-2 din diferite anotimpuri (fig. 4), și ii) a unui stack de imagini multi-senzor Sentinel-2 MSI + Sentinel-1 SARs + indici spectrali derivați din imaginile multispectrale (fig. 5). În ambele situații, s-au obținut acurateți generale pe care este 92%, însă de doar 65% pentru terenurile erodate/degradate.

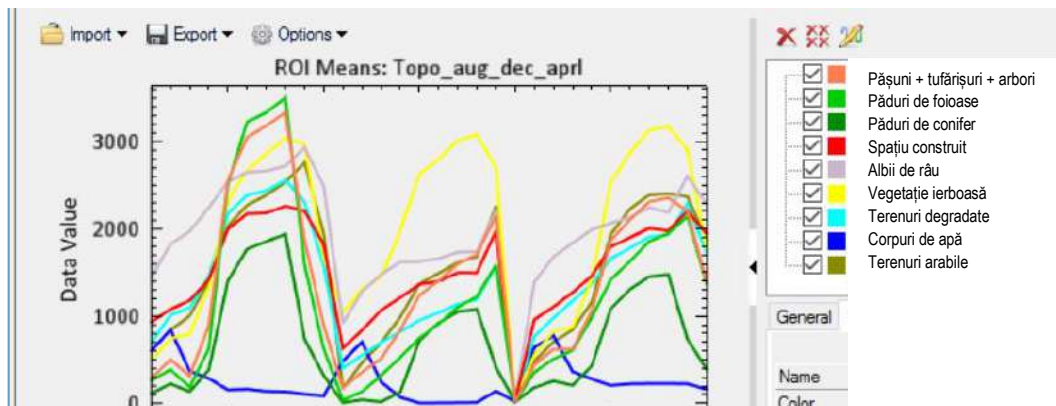


Fig. 4. Separabilitatea spectrală a zonelor de instruire a algoritmului de clasificare pentru diferite categorii de acoperire a terenurilor, în cadrul unui stack multi-temporal ce integrează trei imagini din sezoane diferite (vară, iarnă, primăvară).

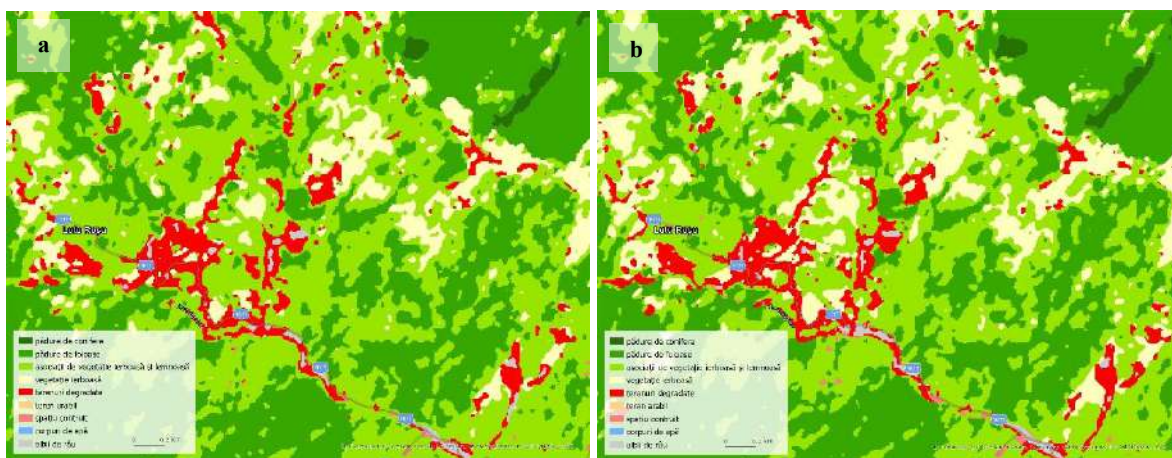


Fig. 5. Clasificarea imaginilor multi-sursă, imagini optice și radar de la sateliții Sentinel (Programul Copernicus Data Space), în vederea obținerii unei acoperiri ale terenurilor detaliate: a) stack pe imagini Sentinel-2 multi-dată + Sentinel-1, și b) Sentinel-2 multi-dată + Sentinel-1 SAR + indici de vegetație. Studiu de caz de la Lutu Roșu, comuna Berteș (jud. Prahova).

Tabelul 2. Statistici privind evaluarea acurateții clasificării supervizate a acoperirii terenurilor pe baza imaginilor Sentinel-2, Sentinel-1 și a indicilor spectrali

Indicator	Valoare
Corespondența terenurilor degradate obținute în clasificare cu puncte de control în teren	65,75%
Acuratețea producătorului	65,75%
Acuratețea utilizatorului	90,87%
Eroarea de omisie	34,25% din care: albie de râu (21,81%) și vegetație ierboasă (12,44%)
Eroarea de comisie	9,13 % din care: albie de râu (6,31%), teren arabil (0,81%) și spațiu construit (0,06%)
Acuratețea generală a clasificării	93,88%
Coeficientul Kappa	0,9090

Activitatea 2.3. Definirea pragurilor pentru clasele de intensitate a eroziunii solurilor, pe baza datelor de teledetecție și a măsurătorilor în teren;

În vederea stabilirii claselor de intensitate a eroziunii solurilor, în funcție de care au fost clasificate toate rastelele privind eroziunea solurilor, am pornit de la studiile și statisticile la nivel european (Borrelli et al., 2017; Panagos et al., 2015, 2020), raportate de Comisia Europeană prin Joint Research Center (JRC) și European Soil Data Centre (ESDAC), astfel:

- pierderile de sol mai mari de 1 t/ha/an sunt considerate ireversibile pentru o perioadă de 50-100 ani;
- valoarea medie a pierderilor sol la nivelul terenurilor predispuse la eroziune din Uniunea Europeană (terenuri agricole, păduri și areale semi-naturale) a fost identificată la 2,46 t/ha/an, cuantificându-se într-o pierdere totală de sol de 970 mil. tone anual.
- 25% din suprafața totală a UE are rate de eroziune mai mare decât pragul considerat sustenabil de 2 t/ha/an.
- pierderile mai mari de 5 t/ha/an sunt considerate nesustenabile, iar pentru aceste areale ar trebui adoptate măsuri de prevenire și combatere a eroziunii solurilor;
- mai mult de 6% din terenurile agricole au rate de pierdere de sol mai mari de 11 t/ha/an, considerate ca eroziune severă.

În acest sens, am stabilit o grilă cu 7 clase de intensitate a eroziunii (tabelul 3), aplicabilă mai ales în zonele cu rate foarte mari de pierdere de sol, la nivelul unor studii de caz, pentru a diferenția atât terenurile cu rate de pierdere de sol considerate a fi sustenabile, dar și diferite intensități din categoriile de eroziune severă, utile în prioritizarea acțiunilor de management sustenabil și intervenție prin măsuri de combatere a eroziunii solurilor.

Tabelul 3. Descrierea claselor de eroziune selectate

Praguri	Intensitatea eroziunii	Descriere
< 1	Eroziune foarte mică	Pierderi de sol reversibile;
1 - 2,5	Eroziune mică	Prag sustenabil; Valori sub media europeană de pierdere de sol;
2,5 - 5	Eroziune moderată	
5 - 10	Eroziune foarte mare	Pierderi nesustenabile de sol; Necesită intervenție prin adoptarea de măsuri de prevenire și combatere.
10 - 25	Eroziune severă	
25 - 50	Eroziune extremă	
> 50		

Activitatea 2.4. Definirea și validarea unui flux de lucru pentru cartografierea repartiției spațiale și a intensității eroziunii solurilor la nivelul unor zone test (locale) din regiuni temperate din România, bazate pe integrarea unor date derivate de teledetecție;

Pentru cartografierea și modelarea intensității eroziunii solurilor au fost aplicate și testate mai multe abordări pentru determinarea factorului C, ca parametru cheie în analiza eroziunii solurilor, identificate și descrise în cadrul activității 2.2, pe baza imaginilor satelitare (fig. 6). Fiecare dintre aceste abordări vine cu o serie de avantaje și limitări. Abordările bazate pe o singură imagine satelitară ca date de input

nu sunt recomandate, întrucât sunt influențate de momentul preluării imaginii (caracteristici atmosferice, caracteristici fenologice ale plantelor, stadiul de dezvoltare al plantelor, starea de sănătate, etc). Prin urmare, recomandăm folosirea imaginilor multi-dată (multi-temporale) sau serii de timp.

Abordările bazate pe imaginile multi-dată presupun folosirea ca date de input a mai multor imagini colectate fie de-a lungul unui sezon vegetativ, fie din diferite sezoane din decursul unui an, în vederea reducerii variabilității spectrale a claselor de acoperire a terenurilor. S-a demonstrat că rezultatele clasificărilor supervizate bazate pe imagini multi-dată au o acuratețe mai mare decât a celor bazate pe o singură-imagine.

Cea mai amplă și performantă abordare este cea în care se folosesc serii de timp de imagini satelitare, colectate pe o perioadă mai lungă de timp (ani). În acest fel, se poate surprinde variabilitatea temporală a acoperirii terenurilor, ce poate conduce mai departe la identificarea perioadelor în care solul este bine sau mai slab protejat cu vegetație. Cubul de date spatio-temporal (*space-time data cube*) oferă posibilitatea efectuării unor agregări statistice de tip medie, mediană, deviație standard, cuartilele Q1 și Q3 pentru diferite perioade de timp: valori lunare, sezoniere, anuale, multi-sezoniere, multi-aniuale. În același timp, se poate determina și variabilitatea spațială, în termeni de variații ale factorului C la nivelul unei clase de acoperire, obținându-se date mai detaliate despre diferențele din interiorul caselor de acoperire.

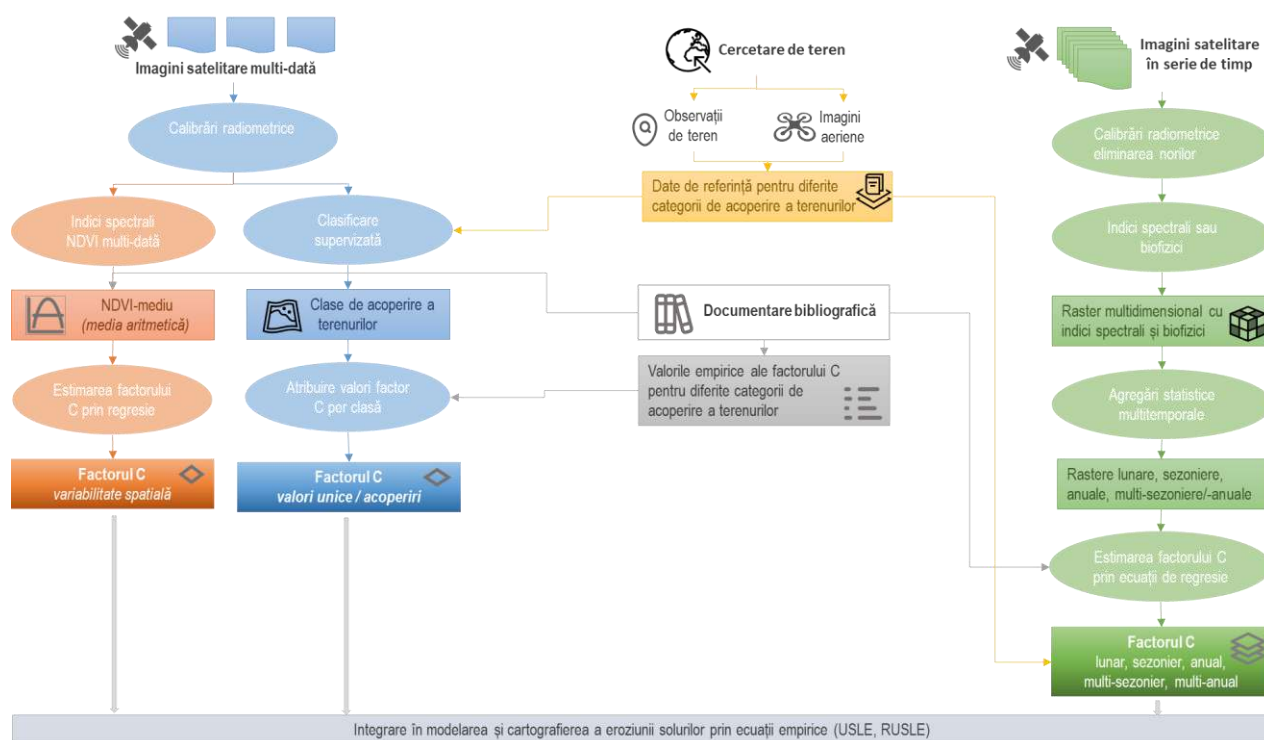


Fig. 6. Abordări și fluxuri de lucru bazate pe imagini de teledetecție pentru cartografierea și modelarea eroziunii solurilor

Activitatea 2.5. Analiza geospațială și geostatistică a relației dintre acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor, cu privire specială asupra: -implicațiilor schimbării acoperirii/utilizării terenurilor asupra eroziunii solurilor; - relației dintre proprietățile biofizice și reflectivitate ale acoperirii/utilizării terenurilor și gradele de intensitate a eroziunii solurilor;

În cadrul acestei activități au fost urmărite două obiective. Primul obiectiv a urmărit implicațiile schimbărilor din acoperirea terenurilor asupra eroziunii solurilor, dincolo de schimbările climatice care deja au fost confirmate de diferite studii asupra accelerării eroziunii solurilor (Patriche, 2023). În acest sens, am realizat analize dinamice care au urmărit evoluția eroziunii solurilor în ultimii 30-40 de ani, ca urmare a schimbărilor în regimul precipitațiilor și acoperirii terenurilor, în vederea identificării tendinței, însă am desfășurat și o analiză bazată pe scenarii care evaluează impactul unor schimbări potențiale ale acoperirii terenurilor sau a unor măsuri de management al terenurilor asupra pierderii potențiale de sol. Studiile au fost realizate la nivelul unor zone test, întrucât recomandările ESDAC privind adoptarea măsurilor să se facă la scară regională sau locală din cauza eterogenității ridicate a caracteristicilor terenurilor (topografice, climatice și bio-pedogeografice).

Unul dintre studiile de caz s-a concentrat la nivelul Platoului Masivului Bucegi (zonă montană cu altitudini de aproximativ 2000 m, cu presiune antropică ridicată și predispoziții pentru eroziunea solului). Pierderile potențiale de sol au fost determinate pentru trei momente temporale: 1977, 2003 și 2020, pe baza ecuației RUSLE, în care factorii dinamici, erozivitatea pluvială (factorul R) și acoperirea terenurilor (factorul C) au fost actualizați pentru fiecare perioadă. Pentru factorul R s-au folosit datele la nivel european disponibile la ESDAC (Bezák et al., 2020), iar factorul C a fost determinat prin atribuirea valorilor empirice din literatură fiecărei clase de acoperire extrasă din imagini satelitare (descrise în activitatea 2.1). Rezultatele arată o intensificare a eroziunii solurilor în parcea centrală a platoului (prin extinderea suprafețelor fără vegetație sub impact antropic: poteci, drumuri), precum și pe limita estică a acestuia, ca urmare a despăduririi unor parcele forestiere (fig. 7).

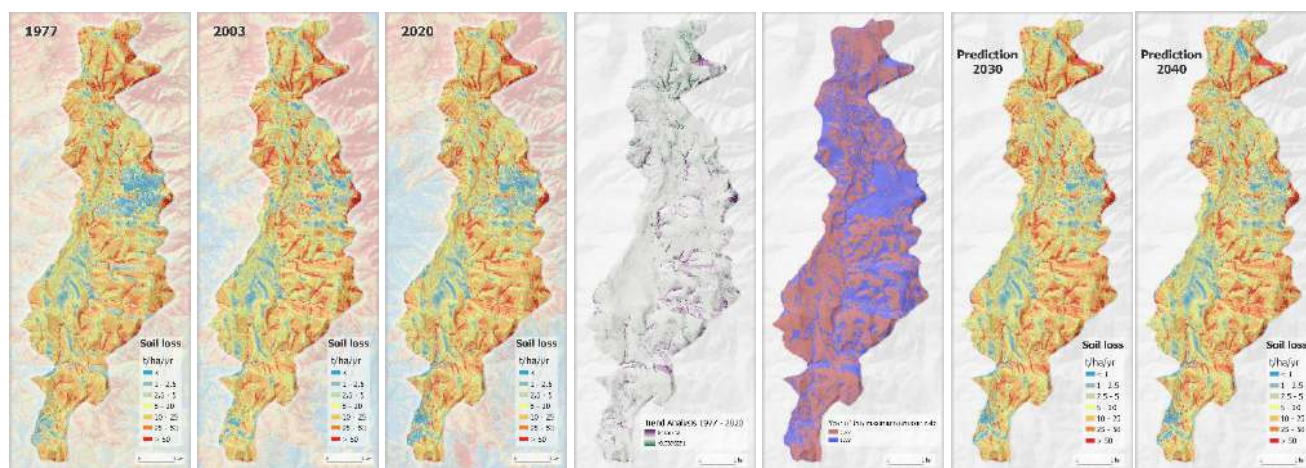


Fig. 7. Modelarea pierderilor de sol pe Platoul Bucegi prin ecuația RUSLE pentru anii 1977, 2003 și 2020, analiza tendinței de eroziune 1977-2020, identificarea anului în care a avut loc cel mai mare potențial de eroziune și predicția eroziunii solurilor pentru anii 2030 și 2040 (lucrarea a fost prezentată la simpozionul internațional EARSel 2024)

Alte două zone-test au fost selectate la nivelul Subcarpaților de Curbură, situate în Dealurile Bughei și Dealul Țintea, areale complementare din punct de vedere al impactului antropic și cu un grad ridicat de eterogenitate la nivelul acoperirii terenurilor (păduri, pășuni, terenuri degradate, livezi de pomi

fructiferi, exploatări de sare, exploatări de petrol). Analiza de dinamică a vizat o perioadă de 35, pe baza a trei momente temporale, selectate prin analogie cu evenimente sociale și politice, cu impact asupra acoperirii și managementul terenurilor, astfel: 1988 (ce reflectă situația de la finalul perioadei comuniste), 2007 (intrarea României în UE și alinierea la politicile europene privind managementul terenurilor), 2023 (situația în prezent). Analiza schimbărilor în acoperirea terenurilor reflectă, pentru ambele studii de caz o dinamică accentuată, caracterizată de o intensă exploatare agricolă (prin pășunat, plantații de pomi fructiferi) și agricolă (exploatări de petrol în dealul Țintea) la finalul anilor 1980, urmată de o scădere treptată a activităților agricole și industriale, corelată cu abandonul terenurilor (fig. 8). În dealurile Bughei, procesul de abandon al terenurilor este mai avansat, pus în evidență de invadarea pășunilor de specii de arbori-pionier și tufărișuri, degradarea livezilor de pomi fructiferi și refacerea vegetației semi-naturale pe terenurile abandonate. În dealul Țintea, activitățile de exploatare a terenurilor continuă, dar cu o intensitate mai scăzută decât la finalul anilor 1980, însă refacerea vegetației semi-naturale pe terenurile degradate este dificilă din cauza eroziunii extreme ce a condus la eliminarea completă a orizontului superior de sol ce poate susține dezvoltarea plantelor, necesitând astfel utilizarea unor practici suport pentru gestionarea acestor terenuri. Acest lucru se reflectă într-o ușoară descreștere a pierderilor potențiale de sol între 1988 și 2023, cu ușoare diferențe între cele două etape, astfel: în prima etapă (1988-2007) rata medie de pierdere de sol crește ca urmare a continuării într-un ritm intens al activităților agricole și industriale după 1990 în arealul de studiu, iar în a doua etapă (2007-2023) se constată o descreștere semnificativă ca urmare a abandonului terenurilor și refacerii vegetației semi-naturale (tabelul 4).

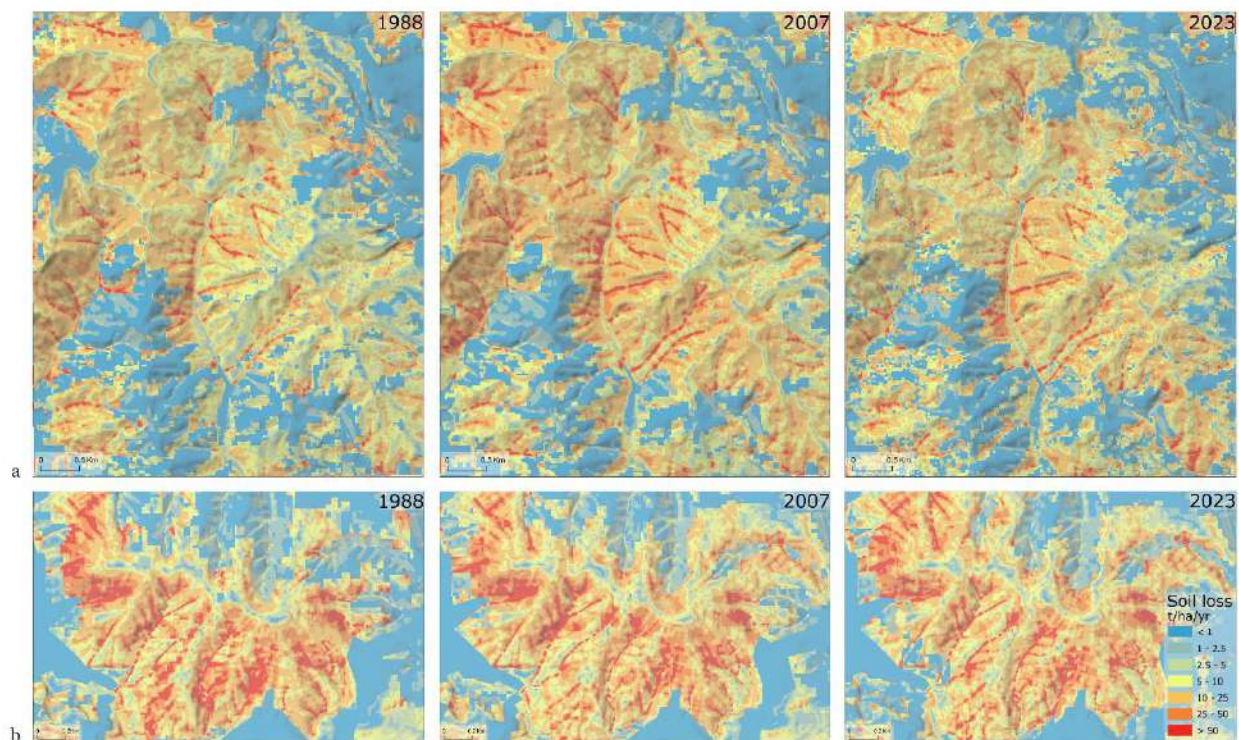


Fig. 8. Potențialul de pierdere de sol determinat pentru studii de caz din Subcarpații Prahovei, în Dealurile Bughei (a) și Dealul Țintea (b), pentru trei momente temporale. Acest material a fost publicat în 2024 în *European Journal of Soil Science – Q1* și poate fi consultat open-access (Virghileanu et al., 2024).

Tabelul 4. Pierderea medie de sol pentru diferite momente temporale și diferența absolută *Acest material a fost publicat în 2024 în European Journal of Soil Science – Q1 și poate fi consultat open-access* (Virghileanu et al., 2024).

	Pierderea medie de sol (t/ha/an)			Diferența absolută (t/ha/an)		
	1988	2007	2023	2007-1988	2023-2007	2023-1988
Dealurile Bughei	9.56	12.25	9.82	2.69	-2.42	0.26
Dealul Țintea	15.74	15.15	14.73	-0.58	-0.43	-1.01

O serie de scenarii posibile (10) au fost selectate în vederea identificării impactului schimbărilor în acoperirea sau managementul terenurilor asupra pierderilor potențiale de sol, ca un instrument de luare a deciziilor la nivel local și/sau regional (tabelul 5). În acest sens, au fost selectate 4 scenarii de schimbări ale factorului de acoperire a terenurilor (C), 4 scenarii ale factorului practici suport împotriva eroziunii (P) și două scenarii cumulative. Toate acestea au fost selectate în funcție de specificul arealului de studiu și de dinamica acoperirii terenurilor din ultimii 35 de ani. Ulterior, ecuația RUSLE a fost aplicată în cadrul fiecărui scenariu pentru a simula pierderile potențiale de sol (fig. 9).

Tabelul 5. Scenariile pentru simularea pierderilor potențiale de sol în condițiile schimbării acoperirii terenurilor și prin adoptarea de practici suport împotriva eroziunii. *Studiul a fost publicat în 2024 în European Journal of Soil Science – Q1 și poate fi consultat open-access* (Virghileanu et al., 2024).

Tipul scenariului	Denumire	Descriere
Managementul acoperirii terenurilor (factor C)	Evoluție în condiții naturale	Continuarea declinului activităților industrial și agricole, abandonul terenurilor și refacerea vegetației semi-naturale.
	Împădurire	Creșterea suprafețelor împădurite prin plantare sau refacere naturală.
	Despădurire	Defrișări ale pădurilor și tufărișurilor.
	Supraexploatare	Intensificarea activităților agricole (pășunat intensiv și continuu) și industriale.
Măsuri vegetative (factor P)	Utilizare agro-forestieră	Alternanțe de parcele forestiere și agricole, asociații de arbori și arbuști de-a lungul drumurilor, zonelor de obârșie ale torenților, terenurilor degradate, asigurând continuitatea activităților agricole.
	Benzi cu vegetație	Benzi de arbuști sau garduri vii, margini cu vegetație ierboasă în jurul infrastructurilor industriale și parcelelor agricole, drumurilor și torenților.
	Managementul pășunatului	Pășunat rotațional asupra parcelelor și adaptarea efectivelor de animale la suprafața de pășunat.
Măsuri de managementul solului (factor P)	Aplicarea de mulci și îngrășăminte naturale	Aplicarea de mulci (frunze uscate, compost) pe terenurile erodate pe care vegetația nu se poate reface în mod natural, și aplicarea de îngrășăminte naturale pe terenurile agricole pentru a îmbunătăți structura solului.
Scenarii cumulative (C + P factor)	Evoluție naturală (C) + utilizare agro-forestieră	Terenuri afectate de abandon alternând cu parcele în care activitatea agricolă continuă cu intensitate redusă.
	Despădurire (C) și benzi cu vegetație (P)	Despăduriri pentru extinderea terenurilor agricole, dar utilizarea de măsuri de tip benzi/perdele de vegetație cu scopul de a reduce eroziunea.

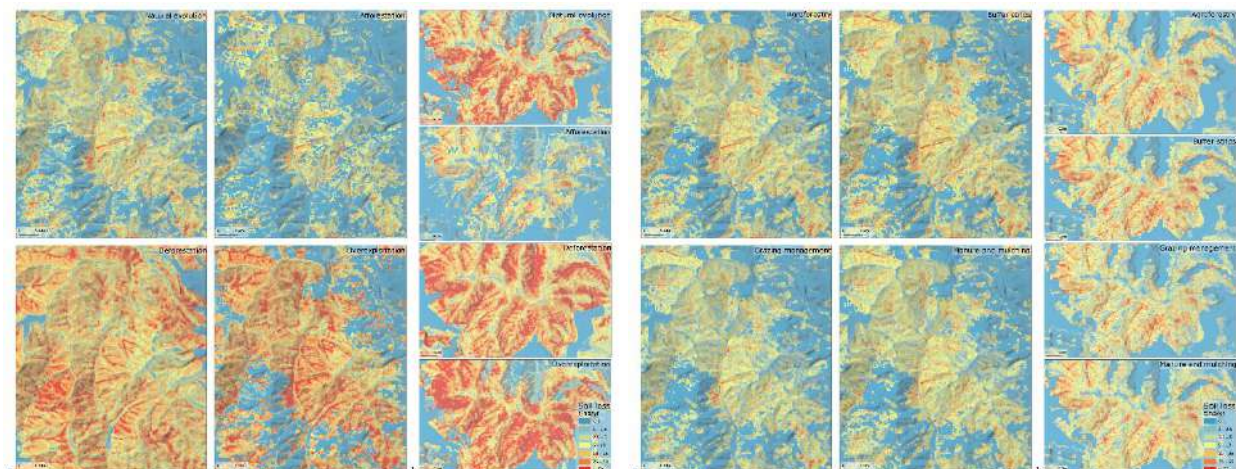


Fig 9. Simularea pierderilor potențiale de sol în diferite scenarii de evoluție a factorilor privind acoperirea terenurilor (C) și adoptării măsurilor împotriva eroziunii (P). *Studiul a fost publicat în 2024 în European Journal of Soil Science – Q1 și poate fi consultat open-access* (Virghileanu et al., 2024).

Tabelul 6 și fig. 10 arată o comparație între valorile medii ale pierderilor de sol obținute în diferite scenarii de schimbare a factorilor de acoperire și management al terenurilor, pentru și diferența absolută în raport cu rata potențială de eroziune calculată pentru anul 2006. Acesta arată că în toate situațiile în care sunt utilizate practici suport împotriva eroziunii, rata medie de eroziune scade. De asemenea, se observă faptul că acoperirea cu vegetație forestieră poate scădea cu până la 2/3 rata pierderii de sol. O situație complementară este reflectată de scenariul de evoluție naturală. Dacă în Dealurile Bughei, se observă că pe fondul continuării reducerii activităților agricole și abandonului terenurilor, rata medie de pierdere a solului scade cu aproape 50%, ca urmare a refacerii vegetației naturale, în Dealul Țintea, rata medie de pierdere a solului crește cu aproximativ 70%. Acest lucru se datorează faptului că în Dealul Țintea, terenurile afectate de eroziune excesivă (cu lipsa orizontului A) ocupă suprafețe extinse, iar pe acestea, refacerea vegetației în ritm semi-natural nu este posibilă în lipsa orizontului de sol bogat în humus și materie organică, fără sprijinirea cu măsuri ameliorative.

Tabelul 6. Pierderile medii de sol simulate în diferite scenarii și diferențele față de modelarea la nivelul anul 2023, considerată scenariu de referință. *Acest material a fost publicat în 2024 în European Journal of Soil Science – Q1 și poate fi consultat open-access* (Virghileanu et al., 2024).

	Dealurile Bughei		Dealul Țintea	
	Pierdere medie de sol (t/ha/yr)	Diferența absolută față de 2023	Pierdere medie de sol (t/ha/yr)	Diferența absolută față de 2023
RUSLE 2023	9.82		14.73	
Evoluție naturală	5.52	-4.30	24.08	+9.35
Împădurire	3.81	-6.02	4.93	-9.80
Despădurire	21.24	+11.42	31.84	+17.11
Supraexploatare	18.98	+9.15	28.62	+13.89
Agro-forestier	5.37	-4.46	8.12	-6.61
Benzi de vegetație	6.32	-3.51	9.56	-5.17
Managementul pășunatului	4.02	-5.80	6.35	-8.37
Mulci și îngrășăminte naturale	4.70	-5.12	6.98	-7.75
Evoluție naturală + agro-forestier	2.99	-6.83	13.35	-1.38
Despădurire + Benzi de vegetație	14.02	+4.2	21.02	+6.29

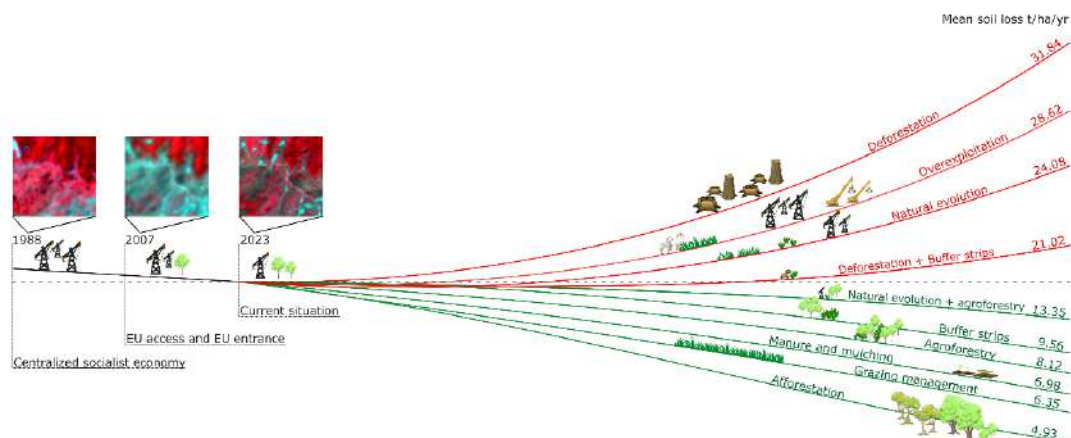


Fig 10. Simulare asupra pierderilor medii de sol în diferite scenarii privind schimbări în acoperirea terenurilor (factorul C) și adoptarea unor măsuri împotriva eroziunii (factorul P) Acest material a fost publicat în 2024 în *European Journal of Soil Science* – Q1 și poate fi consultat open-access (Virghileanu et al., 2024).

Al doilea obiectiv al acestei activități a vizat analiza proprietăților reflective și biofizice ale acoperirii terenurilor în relație cu gradele de intensitate a eroziunii. În acest sens, am selectat o serie de indici spectrali și biofizici care pot surprinde variațiile în acoperirea terenurilor, astfel: NDVI (Rouse et al., 1973), SAVI (Huete, 1988), MSAVI, gNDVI (Gitelson & Merzlyak, 1994), LAI și fCover (Kamenova & Dimitrov, 2021), FAPAR (Snap Biophysical Processor). Studiul de caz a cuprins o fâșie care coboară din Munții Grohotișului (1500 m) până în Depresiunea Mislea-Podeni (200 m), aproape de limita Subcarpaților cu Câmpia Ploieștilor, acoperind un areal de aprox. 880 kmp și o diversitate ridicată a claselor de acoperire a terenurilor. Testarea acestor indici s-a realizat pe baza imaginilor Sentinel-2 MSI, în serie de timp, colectate între 01/01/2016 și 31/08/2024. Astfel, au fost procesate aproximativ 600 de scene satelitare, din care s-au generat aproximativ 2000 de indici derivați. Analiza acestora s-a realizat pe baza unui set de date multidimensional (cub de date în spațiu și timp), ce a permis determinarea unor statistici (medie, mediană, minimum, maximum, deviația standard) la nivel temporal (lunar, sezonier, anual), dar și spațial (la nivelul claselor de acoperire).

Pentru indicii NDVI (determină densitatea vegetației verzi), SAVI (determină, de asemenea, densitatea vegetației verzi, dar printr-o formulă îmbunătățită care ajustează reflectanța parcelelor cu sol neacoperit) și fCover (determină procentul din cadrul unui pixel care este acoperit cu vegetație), se observă o tendință de creștere la nivelul perioadei (fig. 11), pusă pe seama: a) refacerii vegetației semi-naturale ca urmare a abandonului terenurilor (fapt constatat și prin reducerea pierderilor de sol în ultimii ani), și b) înfrunzirea mai devreme și păstrarea frunzișului mai mult timp (noiembrie), ca urmare a schimbărilor în regimul temperaturilor din ultimii ani.

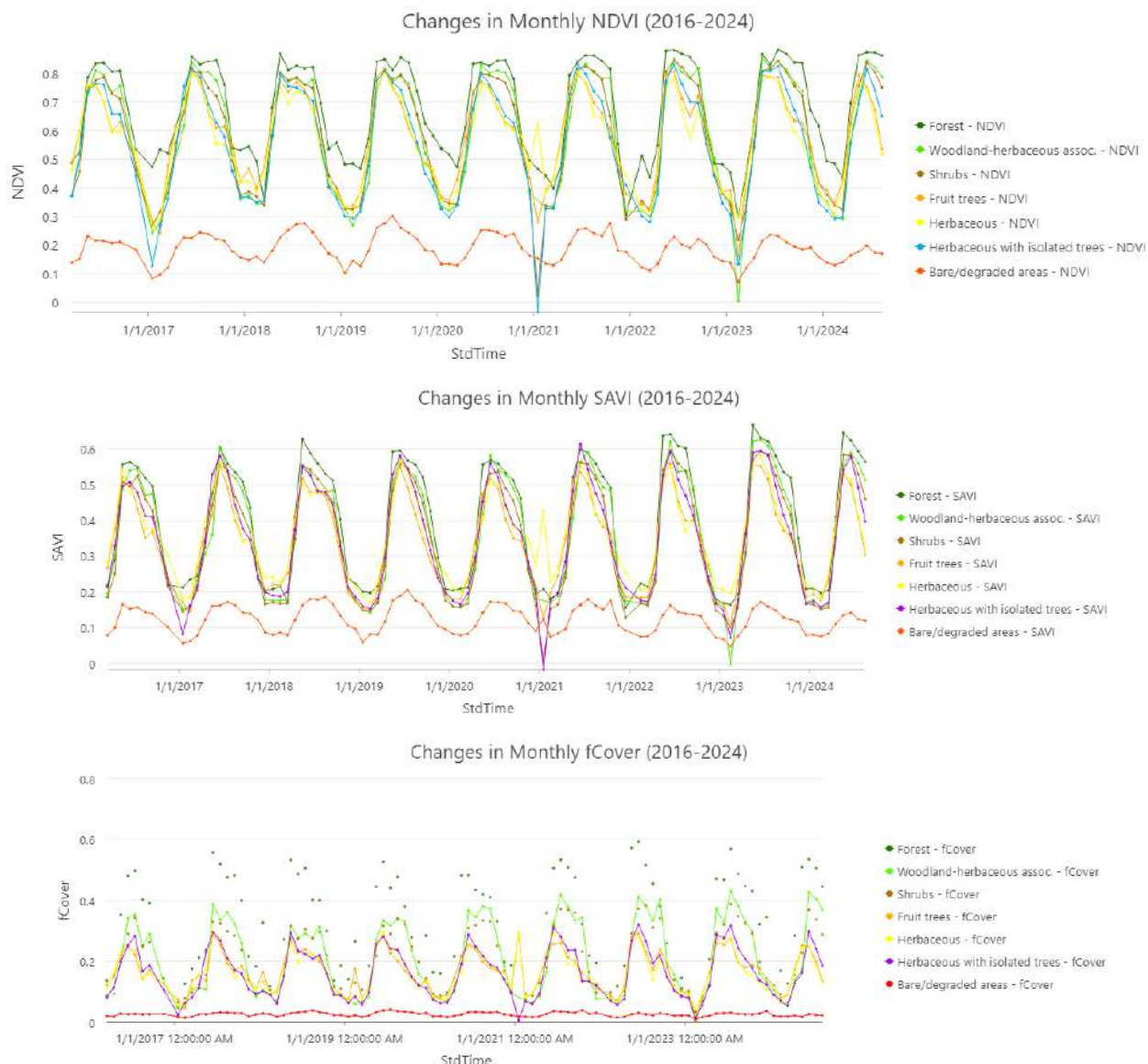


Fig. 11. Schimbări în valorile lunare ale indicilor: NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), fCover (Fraction of Vegetation Cover), pentru perioada ianuarie 2016 – august 2024, punând în evidență relația cu eroziunea solurilor (Virghileanu et al. 2024, articol trimis spre evaluare)

Activitatea 2.6. Analiză comparativă între metodologiile bazate de GIS și teledetecție pentru evaluarea, cartografierea și prognoza eroziunii solurilor;

Având în vedere că acoperirea terenurilor reprezintă cel mai dinamic factor în evaluarea potențialului de eroziune a solurilor și principala sursă de incertitudini în determinarea pierderilor potențiale de sol, în cele ce urmează vom prezenta o analiză comparativă privind estimarea acestuia din imagini satelitare în serie de timp (*flux stabilit în activitate 2.4*) prin diferite abordări. În acest sens, au fost selectate patru metode de estimare a factorului C pe baza indicilor spectrali și biofizici, au fost aplicate la nivelul

zonei test pe care s-a realizat analiza proprietăților reflective ale unor indici la diferite tipuri de acoperiri ale terenurilor, ce acoperă o diversitate ridicată a tipurilor de acoperire

Tabelul 7. Datele și metodele folosite pentru analiza comparativă a metodologiilor de estimare a factorului C, cel mai dinamic component al modelării pierderilor de sol.

Indici folosiți	Metoda pentru estimarea factorului C
NDVI	Van der Knijff et al., 2000
SAVI	Samela et al., 2022
LAI + fCover	Panagos et al., 2012
Literatură + fCover	Panagos et al., 2015

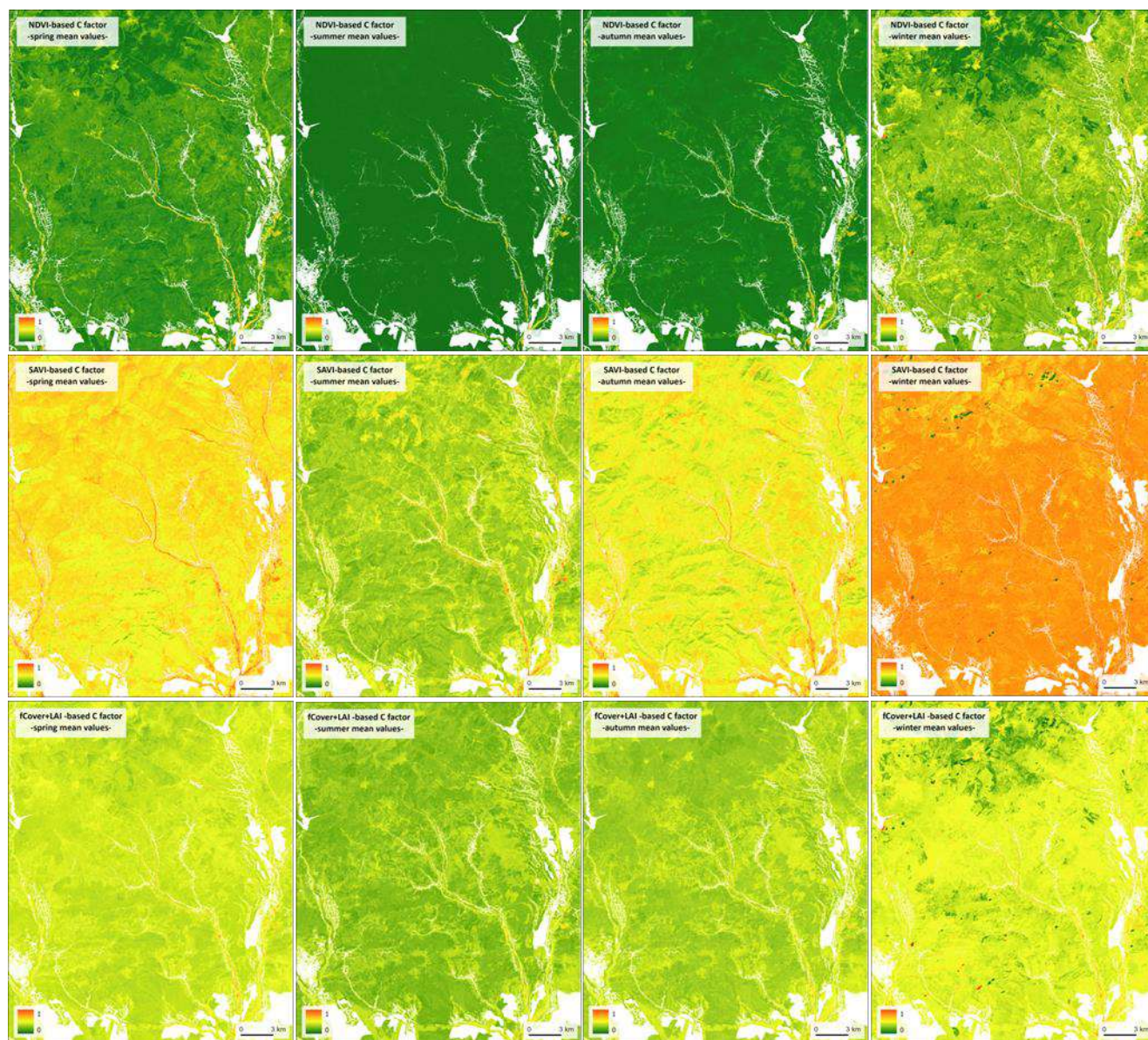


Fig. 12. Variația sezonieră a factorului C, estimat prin diferite abordări (material prezentat la conferința MedGU 2024)

Figura 12 arată variația sezonieră a acoperirii terenurilor la nivelul arealului de studiu, indicând cele mai mici valori ale factorului C în anotimpul iarna. Deși iarna solul este cel mai expus, având o acoperire vegetativă redusă, potențialul pierderii de sol este redus ca urmare la faptului că erozivitatea prin impactul picăturilor de ploaie este scăzută. În schimb, în anotimpurile primăvara și iarna, solul este cel mai vulnerabil la eroziune, ca urmare a acoperirii scăzute cu vegetație și creșterii erozivității pluviale. Având în vedere că lunile martie și noiembrie nu sunt caracterizate de erozivitate pluvială mare și nici de acoperire cu vegetație, am determinat factorul C prin două abordări: una în care am luat în calcul toate lunile de primăvară, respectiv toamnă, și alta în care am folosit doar lunile aprilie-mai, respectiv septembrie-octombrie.



Fig. 13. Variabilitatea sezonieră a factorului C în diferite sezoane și abordări (Virghileanu et al. 2024, articol trimis spre evaluare)

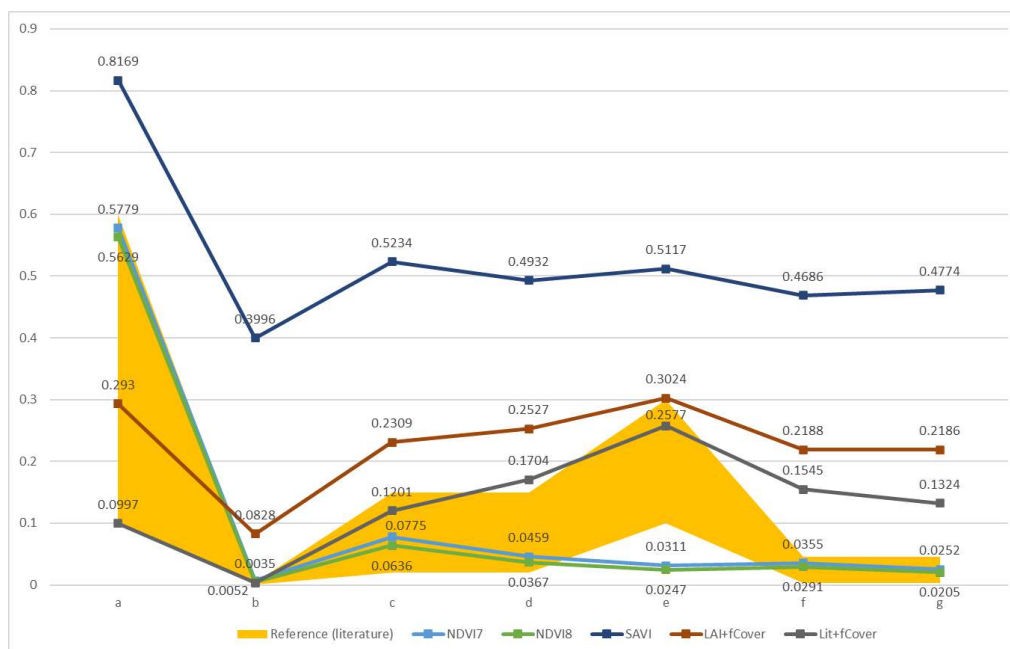


Fig. 14. Comparație între valorile medii anuale ale factorului C estimat prin diferite metode și intervalul de valori de referință din literatură pentru fiecare tip de acoperire: a – terenuri fără vegetație, b – păduri, c-vegetație ierboasă, d-vegetație ierboasă cu copaci izolați, e-livezi, f-asociații de iarbă+arbuști+arbori, g-tufărișuri (Virghileanu et al., 2024, articol trimis spre evaluare)

Conform fig. 13 și 14, cea mai potrivită abordare pentru determinarea factorului C este bazată pe indicele NDVI, calculat cu banda 8 de la Sentinel-2 (Infraroșu Apropriat). Și în cazul acesta, valorile medii pentru pădure sunt foarte puțin supraestimate față de pragul maxim găsit în literatură, răspunsul fiind legat de faptul că există o întârziere între momentul înfrunzirii în zona deluroasă a Subcarpaților, respectiv în zona montană. În cazul livezilor, valorile obținute pentru arealul de studiu sunt mai mici decât pragurile din literatură ca urmare a specificului acestora în zona temperată. În special, în zona deluroasă a Subcarpaților, predomină livezi de măr și prun, cu distanțe mici între arbori și cu vegetație ierboasă printre aceștia. Valorile din literatură reprezintă medii ale valorilor pentru diferite plantații de pomi fructiferi, unele dintre acestea având solul arat, de aici rezultând valoarea factorului C mai mare.

Sumar al rezultatelor etapei a doua (01/01/2024 – 31/12/2024)

Tabelul 8. Rezultatele estimate în etapa a doua și gradul de îndeplinire al acestora

Rezultate estimate	Grad de îndeplinire	Observații
Hărți și seturi de date geospațiale ale repartiției spațiale și nivelului de intensitate a procesului de eroziune a solurilor pentru zone test, obținute din date de teledetecție prin aplicarea tehnicilor de data mining împreună cu măsurători în teren;	100%	Act. 2.1, 2.2, 2.3
Flux de lucru (metodologie) pentru cartografierea eroziunii solurilor pe baza datelor de teledetecție în regiuni temperate;	100%	Act. 2.4
Caracterizarea spațială și statistică a relației dintre schimbările în acoperirea/utilizarea terenurilor și eroziunea solurilor;	100%	Act. 2.5, 2.6
Participarea la două conferințe internaționale;	250%	Act 2.7 (5 comunicări)
Publicarea a două articole în reviste indexate ISI Web of Science, clasificate cel puțin pe quartila a doua (Q2) conform JCR;	100%	Act 2.8 (1 articol publicat în WOS Q1, 1 articol trimis spre evaluare la jurnal WOS Q1);

III. Activități de diseminare și management al proiectului (01/01/2023-31/12/2024)

Diseminarea rezultatelor prin participarea la conferințe științifice (Activitatea 2.7)

Rezultatele obținute au fost prezentate de membrii proiectului în cadrul a opt conferințe internaționale, desfășurate în țări precum: Olanda, Polonia, Marea Britanie, Germania, Spania și România, printr-un total de 9 comunicări științifice (4 comunicări în etapa 1 și 5 comunicări în etapa a 2-a), după cum urmează:

1. Virghileanu M., Mihai B.A., Săvulescu I. (2023) *Mapping soil erosion intensity based on multitemporal Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI satellite imagery*, 42nd EARSeL Symposium, 3-6 July, Bucharest, Romania.
2. Virghileanu M., Mihai B.A., Săvulescu I. (2023) *Using multisensory and multitemporal Sentinel satellite imagery together with in-situ measurements for soil erosion mapping*, Wageningen Soil Conference, 28 August-2 September, Wageningen Research&University, The Netherlands.
3. Mihai B.A., Săvulescu I., Virghileanu M. (2023) *Accurate mapping of soil erosion in complementary Romanian Subcarpathian areas. Integration of multisensor and multirate satellite images with systematic field pedological survey validation*, 7th Forum Carpathicum Conference, 25-28 September, Krakow, Poland.
4. Virghileanu M., Săvulescu I., Mihai B.A., Paraschiv M.G., Bizdadea C.G. (2023) *Land use change effects on soil erosion – an integration between remote sensing and pedological approach towards sustainable soil-use solutions*, ECOSMART International Conference, 17-18 November, Bucharest, Romania.
5. Mihai B.A., Virghileanu M., Săvulescu I., Olariu B., Șandric I., Bizdadea C., *Land Cover Data Mapping from Multisensor Imagery for Soil Erosion Predictive Modelling in Mountain Protected Areas. A Case Study from Bucegi Mountains High Plateau, Romanian Carpathians*. 43rd EARSeL Symposium (European Association of remote Sensing Laboratories), 17-20 iunie 2024, Manchester, UK.
6. Virghileanu M., Săvulescu I., Mihai B.A., Paraschiv M., Bizdadea C., *The evolution trajectory of soil erosion rates in the context of climate change and land cover dynamics. A case study from Romanian Subcarpathian Region*. International Commission on Continental Erosion (ICCE) Symposium: Sensitivity of erosion and sediment transport to recent climate change, 23-26 iulie 2024, Katholische Universitat Eichstätt-Ingolstadt, Germania
7. Virghileanu M., Șandric I., Mihai B.A., Săvulescu I., Bizdadea C., *Evaluating the Impact of RUSLE Cover Management (C) and Support Practice (P) Factors Estimations on Soil Loss in Non-Arable Areas of the Romanian Subcarpathians*, The 3rd International Conference on Re-shaping Territories, Environment and Societies: New Challenges for Geography, 15-16 noiembrie 2024, București, Romania
8. Mihai B.A., Virghileanu M., Olariu B., Săvulescu I., Bizdadea C., Șandric I., *Soil loss RUSLE integrated multirate and predictive modelling on Bucegi Mountain plateau. Between prediction and land use management issues*, The 3rd International Conference on Re-shaping Territories, Environment and Societies: New Challenges for Geography, 15-16 noiembrie 2024, București, Romania
9. Virghileanu M., Mihai B.A., Săvulescu I., Șandric I., Bizdadea C., *Accurate mapping of vegetation cover factor influencing soil erosion modeling, based on Earth Observation data and techniques*, Mediterranean Geoscience Union - 4th annual meeting, 25-28 noiembrie 2024, Barcelona, Spania

Diseminarea rezultatelor prin articole științifice (Activitatea 2.8)

1. **Vîrghileanu M.**, Săvulescu I., **Mihai B.A.**, Bizdadea C.G., Paraschiv M.G., 2024, RUSLE-based scenarios for sustainable soil management: Case studies from Romanian Subcarpathians, *European Journal of Soil Science – Wiley*, 75(4), e13526, <https://doi.org/10.1111/ejss.13526>, (WOS Q1, IF 4, AIS 1,023), *publicat open access*.
2. **Vîrghileanu M.**, Șandric I., **Mihai B.A.**, Săvulescu I., Bizdadea C., 2024, Comparative assessment of vegetation cover management factor of soil loss modelling derived data from Sentinel-2 MSI time series imagery. A case study from Romanian Carpathian-Subcarpathian region, *în evaluare la CATENA – Elsevier* (WOS Q1, IF 5.4), *nr. CATENA30304*.

Managementul proiectului (Activitatea 2.9)

Rapoartele științifice: etapa 1 (2023) și final (2024) au fost predate în termenul prevăzut în contract și sunt puse la dispoziția tuturor celor interesați pe pagina web a proiectului. **Site-ul proiectului**, <https://rs4soil.unibuc.ro/> este funcțional de la începutul proiectului și este actualizat periodic cu informații despre proiect. Link-ul acestuia a fost diseminat prin semnătura oficială a email-ului directorului de proiect.

În cadrul proiectului au fost prevăzute **campanii de teren** pentru efectuarea de observații, colectare de date privind eroziunea solurilor și acoperirea terenurilor ca factor dinamic), dar și de validate a rezultatelor. Campaniile de teren s-au concentrat pe zonele test din Subcarpații Prahovei (Dealurile Bughei, Dealurile Vărbilăului și Dealul Țintea) și Carpații Meridionali (Platoul Bucegi). Acestea s-au desfășurat în diferite perioade de timp (și în sezonul de vegetație, dar și în afara acestuia) pentru a analiza gradul de protecție al solului în diferite momente temporale (fig. 15).

Un alt obiectiv al campaniilor de teren a urmărit **discuții cu autorități locale**. În acest sens, rezultatele proiectului vor fi puse la dispoziția următoarelor instituții publice locale: Primăria Orașului Slănic, Primăria Orașului Băicoi, Primăria Comunei Berteș și Primăria Comunei Vărbilău, toate situate în județul Prahova, unde au fost situate zonele test. În plus, cu Primăria Orașului Slănic Prahova, s-a realizat și un acord de colaborare care vizează desfășurarea activităților științifice și didactice pe teritoriul administrativ al orașului, precum și punerea la dispoziție a rezultatelor științifice.





Fig. 15. Imagini aeriene obținute cu UAV Mavic 3E și fotografii realizate în campaniile de teren în Dealurile Bughei (a) și Dealurile Vărbilăului (b și c). Se pot observa terenuri afectate de eroziune în diferite momente temporale (iulie, și octombrie).

Sumar al indicatorilor de rezultat planificați și realizați (01/01/2023 – 31/12/2024)

Tabelul 9. Indicatori de rezultat planificați și realizați, precum și gradul de realizare al acestora

Indicatori de rezultat	Planificat	Realizat	Grad de realizare
Rapoarte științifice	2	2 (unul pentru fiecare etapă)	100%
Articole științifice	2 (minim Q2)	2 (1 publicat în European Journal of Soil Science -Wiley Q1, 1 în evaluare la Catena-Elsevier Q1)	100%
Participări la conferințe	3	9	300%
Baze de date geospațială	1	1	100%
Hărți și seturi geospațiale	1	1	100%
Fluxuri de lucru	2	2	100%

IV. Impactul estimat al rezultatelor obținute

Rezultatele obținute în cadrul proiectului contribuie la cercetarea fundamentală a eroziunii solurilor din România, atât din perspectivă teoretică, metodologică, dar și aplicativă. Rezultatele obținute la nivelul unor zone test, pot fi extrapolate la scară regională sau națională, reproduse pe alte spații/areale, dar pot servi și ca instrumente pentru luarea deciziilor în vederea protecției și conservării solurilor, dar și adoptării soluțiilor de utilizare sustenabilă a resurselor de sol sau management al terenurilor afectate.

Elementele de noutate și originalitate care au fost aduse prin rezultatele acestui proiect, fiind și cele mai semnificative rezultate, constau în:

-analiza și identificarea arealelor susceptibile la eroziune și a ratele potențiale de pierdere de sol într-o **manieră dinamică**: la diferite momente din trecut – *eroziune istorică*, în prezent – *situația actuală* și din viitor – *scenarii potențiale de evoluție în funcție de schimbările la nivelul acoperirii terenurilor cu vegetație sau de management al terenurilor și predicții pe 10 sau 20 de ani pe baza tendinței de evoluție în ultimii 35-40 de ani*. Analizele de tip scenariu scot în evidență impactul adoptării unor măsuri, politici sau practici de gestiune a terenurilor asupra proceselor de eroziune în suprafață sub influența apei. Studiul a fost publicat în European Journal of Soil Science (WOS Q1) și reprezintă un instrument util pentru planificarea la nivel local și regional, în vederea adoptării unor decizii sustenabile de gestiune și utilizare a resurselor de sol-teren. Pe lângă importanța practică a acestuia, analiza are și o importanță metodologică deosebită, aceasta putând fi reprodusă pentru diferite scări de analiză (locale, județene, regionale, naționale).

- **integrarea datelor de teledetectie în serii de timp** pentru cartografierea cu acuratețe ridicată a factorului privind acoperirea terenurilor, cel mai dinamic factor al eroziunii solurilor. Cercetarea aceasta vine în contextul în care factorul privind acoperirea terenurilor este cel care introduce și cele mai multe incertitudini la nivelul modelării eroziunii potențiale ale solurilor, întrucât acesta are o variabilitate spațială și temporală ridicată, variază în raport cu regiunile climatice și este dependent de condițiile locale specifice de acoperire cu vegetație / utilizare a terenurilor. În acest sens, am realizat **o analiză comparativă a mai multor metode** bazate pe folosirea imaginilor de teledetectie Sentinel-2 MSI în serii de timp, în vederea cartografierea factorului C al ecuației RUSLE cu acuratețe ridicată, obținându-se astfel valori specifice condițiilor temperate din România. Acest rezultat are o importanță practică deosebită pentru modelarea cu acuratețe a eroziunii solurilor în condițiile specifice regiunilor temperate din România, dar și un grad de originalitate ridicat, fiind realizat în premieră în România, mai ales în contextul în care, până acum, modelările pierderilor potențiale de sol în România s-au bazat, fie pe valori empirice acordate unor clase de acoperire a terenurilor, preluate din literatura internațională (deși factorul de acoperire variază în funcție de regiunile climatice și condițiile locale), fie prin folosirea indicelui NDVI generat dintr-o singură imagine satelitară, preluată la un singur moment temporal (care nu este reprezentativă la nivel lunar, sezonier sau anual, ilustrând doar o situație temporală).

În acest sens, considerăm că rezultatele obținute în acest proiect au impact semnificativ:

- științific (contribuție la dezvoltarea cercetărilor asupra eroziunii solurilor, prin analiza în perspectivă dinamică, ilustrând influența diferiților factori supra modelării eroziunii);
- metodologic (testarea și stabilirea unor metodologii și fluxuri de lucru ce pot fi aplicate și în alte zone și/sau scări de analiză, aspecte comparative privind anumite metode de integrare a datelor de teledetectie);
- aplicativ (instrument de luare a deciziilor la nivel local și/sau regional, în vederea identificării soluțiilor sustenabile pentru managementul terenurilor și planificarea acestora).

În sens extins, rezultatele proiectului ar putea avea și un impact economic (evidențierea unor soluții pentru reducerea pierderilor de sol și creșterea productivității terenurilor), dar și social și cultural (oferirea de soluții pentru gestiunea terenurilor degradate, cu efecte asupra îmbunătățirii esteticii peisajului).

În concluzie, toate obiectivele prevăzute au fost îndeplinite, obținându-se astfel rezultatele estimate, cu impact semnificativ la nivel științific, metodologic și aplicativ, și cu un grad ridicat de noutate și originalitate.

Mulțumiri. Adresăm mulțumiri colegilor conf. univ. dr. Ionuț Săvulescu, conf. univ. dr. Ionuț Șandric, dr. Olariu Bogdan, drd. Carmen Bizdădea și drd. Monica Paraschiv de la Facultatea de Geografie din cadrul Universității din București pentru susținerea oferită pentru bunul demers al acestui proiect, prin discuții, lucru în echipă, procesarea datelor și analiza acestora și însoțirea în campanii de teren.

Referințe bibliografice

- Ayalew, D. A. (2020). Investigating crop management factor (C) and potential soil erosion in a large agricultural landscape: Spatiotemporal analysis through remote sensing and land use data.
- Bezak, N., Ballabio, C., Mikoš, M., Petan, S., Borrelli, P., & Panagos, P. (2020). Reconstruction of past rainfall erosivity and trend detection based on the REDES database and reanalysis rainfall. *Journal of Hydrology*, 590, 125372. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125372>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K. V., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Adgo, E., Fenta, A. A., Meshesha, D. T., Berihun, M. L., Sultan, D., Vanmaercke, M., Panagos, P., Borrelli, P., Langendoen, E. J., & Poesen, J. (2022). Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 161–176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002>
- Ediş, S., Timur, Ö. B., Tuttu, G., Aytaş, İ., Göl, C., & Özcan, A. U. (2023). Assessing the Impact of Engineering Measures and Vegetation Restoration on Soil Erosion: A Case Study in Osmaniye, Türkiye. *Sustainability*, 15(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/su151512001>
- Estrada-Carmona, N., Harper, E. B., DeClerck, F., & Fremier, A. K. (2017). Quantifying model uncertainty to improve watershed-level ecosystem service quantification: A global sensitivity analysis of the RUSLE. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 13(1), 40–50. <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1237383>
- Gitelson, A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143(3), 286–292.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- Jazouli, A. E., Barakat, A., Khellouk, R., Rais, J., & Baghdadi, M. E. (2019). Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 361–374. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004>
- Kamenova, I., & Dimitrov, P. (2021). Evaluation of Sentinel-2 vegetation indices for prediction of LAI, fAPAR and fCover of winter wheat in Bulgaria. *European Journal of Remote Sensing*, 54(sup1), 89–108. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1839359>
- Marcinkowski, P., Szporak-Wasilewska, S., & Kardel, I. (2022). Assessment of soil erosion under long-term projections of climate change in Poland. *Journal of Hydrology*, 607, 127468. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127468>
- Minervino Amodio, A., Gioia, D., Danese, M., Masini, N., & Sabia, C. A. (2023). Land-Use Change Effects on Soil Erosion: The Case of Roman “Via Herculia” (Southern Italy)—Combining Historical Maps, Aerial Images and Soil Erosion Model. *Sustainability*, 15(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su15129479>
- Ni, J., Cheng, Y., Wang, Q., Ng, C. W. W., & Garg, A. (2019). Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling. *Journal of Hydrology*, 571, 494–502. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.009>
- Panagos, P., Ballabio, C., Poesen, J., Lugato, E., Scarpa, S., Montanarella, L., & Borrelli, P. (2020). A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. *Remote Sensing*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/rs12091365>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Patriche, C. V. (2023). Applying RUSLE for soil erosion estimation in Romania under current and future climate scenarios. *Geoderma Regional*, 34, e00687. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00687>
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Vol. 703). US Government Printing Office Washington, DC.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium.
- Virghileanu, M., Săvulescu, I., Mihai, B.-A., Bizdadea, C.-G., & Paraschiv, M.-G. (2024). RUSLE-based scenarios for sustainable soil management: Case studies from Romanian Subcarpathians. *European Journal of Soil Science*, 75(4), e13526. <https://doi.org/10.1111/ejss.13526>
- Xiong, M., Leng, G., & Tang, Q. (2023). Global Analysis of the Cover-Management Factor for Soil Erosion Modeling. *Remote Sensing*, 15(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/rs15112868>

Director de proiect:
Virghileanu Marina-Ramona