

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

Etapă de execuție 1 (2023)

Echipa de proiect:

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

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

Etapa 1 a proiectului (01/01/2023 – 31/12/2023):

**Utilizarea tehnicilor GIS și de teledetecție pentru modelarea eroziunii
potențiale a solurilor la diferite momente temporale, analiza schimbărilor și
prognoza potențialelor pierderi de sol;**

Cuprins

I. Rezumatul executiv al activităților realizate în perioada de implementare.....	3
II. Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare al obiectivelor.....	4
Introducere	4
Activitatea 1.1.	4
Activitatea 1.2.	5
Activitatea 1.3.	6
Activitatea 1.4.	6
Activitatea 1.5.	7
Activitatea 1.6.	8
Activitatea 1.7.	10
Activitatea 1.8.	12
Activitatea 1.9.	13
Activitatea 1.10.	13
Activitatea 1.11.	14
Activitatea 1.12.	15
Activitatea 1.13.	16
Activitatea 2.7.	17
Activitatea 2.9.	17
Concluzii și perspective	17
III. Sumar al progresului proiectului.....	18
Referințe bibliografice	18

I. Rezumatul executiv al activităților realizate în perioada de implementare

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.

Obiectivele specifice primei etape de execuție (01/01/2023-31/12/2023) au fost: 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.

Etapa 1 a cuprins 15 activități, 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).

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.

Cartografierea factorilor statici și dinamici ce controlează procesele de eroziune, precum și modelarea eroziunii potențiale a solurilor a fost realizată prin adaptarea metodologiei internaționale RUSLE la condițiile specifice zonelor temperate și la datele disponibile în România. Studii de caz complementare din Subcarpații de Curbură au fost selectate pentru efectuarea măsurătorilor de teren și efectuarea analizelor, ca urmare a varietății categoriilor de acoperire/utilizare a terenurilor și a influenței antropice semnificative de-a lungul timpului. Deși analizele de dinamică ilustrează o scădere a ratelor potențiale de pierdere a solurilor în ultimii 35 de ani, ca efect al diminuării activităților antropice (ex. pășunat excesiv) sau al abandonului terenurilor agricole, ratele de pierdere anuală de sol se mențin încă ridicate din cauza popularității scăzute a practicilor suport împotriva proceselor de eroziune - suprafețe însemnate fac parte din clasa de eroziune extremă cu pierderi de sol de peste 1 tonă/ha/an (10%, respectiv 1%), considerate ireversibile pentru un interval de 50-100 de ani. Acoperirea/utilizarea terenurilor este factorul care a avut un impact mai semnificativ asupra dinamicii ratelor de pierdere a solurilor din ultimii 35 de ani, însă prognozele susțin că impactul erozivității precipitațiilor va crește în următorii ani ca efect al schimbărilor climatice.

II. Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare al obiectivelor

Introducere

Solurile reprezintă una dintre cele mai importante resurse ale planetei, întrucât produc, direct sau indirect, 95% din hrană, găzduiesc $\frac{1}{4}$ din biodiversitate și au rol în diferite servicii ecosistemice precum purificarea apei, scăderea riscului de secetă și inundații, stocarea unei cantități însemnate de carbon cu impact asupra atenuării schimbărilor climatice (Gupta, 2023).

Eroziunea solurilor constituie una dintre primele forme ale degradării învelișului pedogeografic și ale diminuării resurselor de sol la scară Globală (FAO & ITPS, 2015), indiferent de zona bioclimatică (Prăvălie, 2021), dar mai ales la scara regională (FAO, 2019), pe fondul schimbărilor climatice, dar și al dinamicii acoperirii și utilizării terenurilor (Borrelli et al., 2021). De asemenea, eroziunea solurilor poate fi considerată și un indicator al impactului antropic la nivelul mediului geografic, inclusiv la nivel geoistoric pentru întregul Antropocen (Owens, 2020) cu definirea unor tematici de cercetare specifice (Poesen, 2018).

Conform statisticilor Uniunii Europene, aproximativ 970 mil. tone de sol se pierd anual ca urmare a eroziunii hidrice, iar rata de pierdere a solurilor este proiectată să crească la 13-22,5% în UE și UK până în 2050, în principal ca efect al schimbărilor climatice și creșterii intensității precipitațiilor – ESDAC (Arias-Navarro et al., 2023). Mai mult, îngrijorarea actuală este legată de eroziunea accelerată / extremă, întrucât orice pierdere de sol mai mare de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ este considerată ca fiind ireversibilă pentru un interval de 50-100 de ani.

În vederea atingerii scopului proiectului de cercetare, în etapa 1 de execuție au fost realizate 15 activități ce au condus la îndeplinirea celor 4 obiective specifice acestei etape (descrise la pagina 3).

Activitatea 1.1. Fundamentarea științifică (state-of-the-art): Identificarea modelelor disponibile bazate pe GIS pentru analiza proceselor de eroziune a solurilor, aplicate la diferite scări: globale, continentale, regionale și locale;

Activitățile de fundamentare științifică (1.1.-1.4) au constat în consultarea a 193 de lucrări științifice de specialitate în domeniul cartografierii și modelării solurilor prin tehnici GIS și de teledetecție. Rezultatele sintetice ale documentărilor sunt prezentate pe tematici în cadrul activităților 1.1 – 1.4.

În context internațional, sunt recunoscute o serie de direcții de analiză ale relației eroziunii solului cu factorii ce o generează, abordată inițial din perspectivă strict pedologică sau pedogeografică, prin explicarea interacțiunilor dintre proprietățile tipurilor de sol – morfologice, fizico-chimice, biologice și agrotehnicile utilizate (Montgomery, 2007). Perioada de început a acestor studii, anii 1960-1970, mai ales în SUA, la USDA (Departamentul de Agricultură) a marcat fundamentarea primelor instrumente calitative, dar mai ales a bazei cantitative care a permis primele estimări cu privire la pierderile potențiale ale constituenților solului și mai ales ale materialului fertil (USLE – ecuația universală a pierderii de sol) (Wischmeier & Smith, 1960), perfecționate prin cercetările care au urmat inclusiv în anii 90 – ecuația în forma ei revizuită sau RUSLE (Renard et al., 1997). Începând cu anii 2000, se conturează o nouă etapă în cercetarea eroziunii solului, pe fondul identificării și cuantificării relațiilor acestora cu schimbările climatice și cu efectele sinergice ale acestora la diferite scări spațiale și temporale (Li & Fang, 2016). În condițiile în care *instrumentele de analiză digitală a informațiilor geospațiale* (GIS, teledetecție), respectiv de modelare a fenomenologiei specifice pe spații mari, de la

bazine morfohidrografice la teritorii naționale, continentale și chiar Globale (Ma et al., 2021) s-au diversificat, a început o nouă etapă, cu producerea de acoperiri tematice la nivel de factori, la diferite rezoluții spațiale. Acestea au reorientat prioritățile către producerea de informații noi cu relevanță pentru cunoașterea mecanismelor transferului de sedimente pe diferite suprafețe, însă și mai importantă a fost generarea, evaluarea și validarea unor modele cantitative ale pierderilor de sol (Van Rompaey et al., 2003), cu o mare utilitate în dezvoltarea pe baze sustenabile a instrumentelor de luare a deciziilor în agricultură (Renard et al., 1997; Rodrigo-Comino, 2018), pe fondul schimbărilor climatice (Luetzenburg et al., 2020), în amenajarea teritoriului/planificarea teritorială (Fang & Fan, 2020), inclusiv în dezvoltarea regională.

Deși este apreciată drept un model empiric, ecuația revizuită a pierderii de sol (RUSLE, [https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WA/Revised_Universal_Soil_Loss_Equation_\(RUSLE\).htm](https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WA/Revised_Universal_Soil_Loss_Equation_(RUSLE).htm)), oferă avantajele unei adaptări relativ ușoare în mediul specific SIG, principala condiție fiind legată de corespondența parametrilor terenului cu valorile reale măsurabile sau care pot fi modelate, mai ales deterministic, la nivelul diferitelor straturi tematice cu specificul și limitările asumate (Alewell et al., 2019). Dintre modelele de estimare a intensității eroziunii solurilor existente în bibliografie, RUSLE este evaluat la cele mai diferite scări spațiale și este identificat cu o mare pretabilitate la studiile desfășurate în Europa (Guo et al., 2019). Literatura este bogată în studii regionale, în care modelele dezvoltate și uneori calibrate integrează indirect și date climatice (precipitații), date privind utilizarea terenurilor, tipologia și proprietăți ale solurilor, precum și aspecte ale agrotehnicilor utilizate (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020).

Activitatea 1.2. Fundamentarea științifică (state-of-the-art): Analiza metodologiilor pentru eroziunea solurilor bazate pe GIS aplicate în regiuni temperate, în general și în România, în special;

La scara teritoriului european există o preocupare importantă privind cartografierea nivelului sau intensității eroziunii solurilor, dar în special în direcția modelării predictive a fenomenului (Panagos et al., 2020, 2021). Pierderea de sol este un fapt real în numeroase regiuni europene ca efect direct al schimbărilor la nivelul utilizării terenurilor în condițiile politicilor comunitare și abandonului rural (Cillis et al., 2021), dar și sub influența schimbărilor climatice (Morales-Castilla et al. 2020), fapt ce poate fi documentat prin exploatarea datelor de teledetecție din arhivele specializate și în special prin validarea la teren a parametrilor modelați (Porto et al., 2022).

Pentru regiunile carpatice central și est-europene, dar mai ales pentru teritoriul României, există modelări la diferite scări ale eroziunii solului. Un prim studiu a fost efectuat pentru teritoriul Slovaciei (Fulajtár & Janský, 2001) cu un caracter de sinteză în contextul evaluării resurselor de sol și a conservării acestor prin diferite măsuri. Un impact important îl reprezintă studiul realizat la scara teritoriului Poloniei ca prognoză a eroziunii solurilor pentru 2021-2050, pornind de la ecuația RUSLE cu aplicarea unor predicții climatice la nivel de scenarii, cu date Corine Land Cover 2018 (Marcinkowski et al., 2022). În același cadru, în România, după publicarea unor sinteze generale în volume dedicate (Ionita et al., 2006), a fost generat, folosind noile tehnici digitale, un model al eroziunii solurilor adaptat condițiilor topografice și climatice, numit și ROMSEM, derivat din modelul RUSLE (Patriche 2017), la care autorul accentuează necesitatea validărilor în teren, pe bazine morfohidrografice. La acesta se adaugă și alte modele de predicție la scară națională (Patriche, 2019, 2023), care similar modelului din Polonia, prognozează o creștere pentru următoarele decenii a pierderilor de sol în regiunile Subcarpaților. Un element important rămâne însă acuratețea datelor integrate în modelările specifice în SIG (RUSLE, USPED, PESERA etc.) deoarece acestea rezultă din interpolări sau procesări care pot introduce unele abateri de la valorile reale.

Analizele de detaliu realizate în ultimii ani în aceste spații geografice au vizat mai mult condițiile punctuale ale erodabilității și pierderii de sol, folosind tehnici digitale și sondaje pedologice. Cele mai multe modele utilizează ecuațiile RUSLE în cadrul regional (Bilașco et al., 2009), în timp ce alte analize sunt legate de rezolvarea unor probleme practice privind eroziunea pe terenurile agricole (Zisu I. & Năsui D., 2015). Studiile sunt analize statice bazate pe algebră cartografică, iar datele satelitare nu sunt integrate în mod direct, ci doar prin acoperiri Corine Land Cover.

Din acest punct de vedere, cercetările din ultimii ani, de această dată cu impact pe plan internațional explică formele principale ale degradării terenurilor din România, fie prin aplicarea adaptată a unor modele testate în alte regiuni cum ar fi cele mediteraneene (Prăvălie, Patriche, Săvulescu, et al., 2020), fie prin introducerea unor indici mai cuprinzători ce iau în calcul mai mulți factori între care unii parametri climatici ori proprietăți ale solurilor cum ar fi textura (LDSI la Prăvălie, Patriche, Tișcovschi, et al. 2020), scopul fiind prognozarea degradării terenurilor cu relevarea rolului schimbărilor modurilor de utilizare pe fondul aridizării locale a climei, documentată în sud-vestul României, în Câmpia Olteniei, unde s-a utilizat indirect și indicele spectral NDVI pentru cuantificarea calității acoperirii terenului cu vegetație (Prăvălie et al., 2017).

Activitatea 1.3. Fundamentarea științifică (state-of-the-art): Evaluarea modului de utilizare a datelor și tehnologiilor de teledetecție pentru cartografierea și modelarea eroziunii solurilor;

Importanța *exploatării avansate în Observarea Pământului* (Sepuru & Dube, 2018) a datelor satelitare la diferite rezoluții spațiale, spectrale, dar mai ales temporale, este legată de modelarea factorului C al acoperirii/utilizării terenurilor în plan regional (Alexakis et al., 2021; Sulistyo, 2016), dar și a datelor de teren pentru erodabilitatea solului (K), împreună cu modalitatea de cuantificare a agrotehnicilor utilizate, la care nu poate fi omisă și influența parametrilor topografici derivați fie din modele numerice disponibile.

În acest cadru, *analiza schimbărilor acoperirii și utilizării terenurilor* (Nedd et al., 2021) devine o prioritate deoarece pe termen mediu sau lung aceasta se suprapune cu o anumită dinamică a parametrilor climatici cu rol esențial. De aici rezultă și rolul important al procesării arhivelor cu date satelitare de la senzorii optici pentru *modelarea utilizării și acoperirii terenurilor*, cum ar fi Landsat, Sentinel-2 MSI, MODIS (Cao et al., 2023), care sunt cele mai bine integrate în studiile publicate cu impact pe plan internațional. Datele multitemporale privind indicii spectrali (Puente et al., 2019) și în special indicele spectral NDVI sau Indicele Normalizat de Diferențiere al Vegetației cu derivatele lui (SAVI, EVI), dar și indicii biofizici cum este LAI- Indicele acoperirii cu frunziș al solului (Novara et al., 2018) sunt frecvent generate în contextul seriilor de timp cu exploatare statistică avansată în vederea modelării eroziunii solului și predicțiilor acesteia (Borrelli et al., 2021), inclusiv cu apelarea la diferite scenarii privind schimbările climatice la scara Globală cu efecte regionale sau regională-locală.

Activitatea 1.4. Fundamentarea științifică (state-of-the-art): Descrierea metodologiei și standardelor din România pentru eroziunea solurilor, elaborate de ICPA București și FAO;

La nivel național, *Metodologia elaborării studiilor pedologice*, realizată de Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie - ICPA (Florea et al., 1986), descrie clasele de eroziune prin apă în funcție de grosimea primului orizont de sol și tipul profilului (tabel 1).

Tabel 1. Clasele de eroziune prin apă, conform Metodologiei elaborării studiilor pedologice, ICPA 1986

Denumirea clasei	Criterii de încadrare după orizontul de suprafață, cu profil:		
	A-AC-C	A-B-C	A-E-B-C

Slab erodat	Am: 20-35 cm Au: 20-35 cm Ao: 10-20 cm		Am + E: 10-35 cm Aou + E: 10-35 cm Ao + E: 10-20 cm
Moderat erodat	Aom: 10-20 cm Aou: 10-20 cm Ao < 10 cm		Aom + E < 20 cm Aou + E < 20 cm Ao + E < 10 cm
Puternic erodat	AC > 20 cm sau Aom < 10 cm Aou < 10 cm	AB < 20 cm sau Aom < 10 cm Aou < 10 cm	EV sau E + B < 20 cm
Foarte puternic erodat	AC < 20 cm	B	B
Excesiv erodat	C, Cca	Cpr, Rrz	C

Activitatea 1.5. Colectarea de date în teren, cu ajutorul unui receptor GNSS pentru localizarea cu precizie a acestora, constând în: a) tipul de acoperire/utilizarea terenurilor și puncte de control în teren; b) măsurători privind caracteristicile orizontului superior de sol și intensitatea eroziunii prin profile de sol; c) imagini de înaltă rezoluție colectate cu drona;

În decursul anului 2023 au fost efectuate mai multe campanii de teren în zona Subcarpaților de Curbură pentru stabilirea zonelor test pentru efectuarea măsurătorilor. Zonele test alese sunt caracterizate de schimbări semnificative în acoperirea terenurilor de-a lungul timpului sub influență antropică, de la despăduriri pentru extinderea pășunilor, livezilor și exploatarea de petrol, până la procese de abandon al terenurilor, în prezent. Una dintre zonele test alese este situată în Dealul Țintea, la contactul Subcarpaților cu zona de câmpie, pe arealul administrativ al orașului Băicoi (jud. Prahova), un areal ce se confruntă cu multiple procese de degradare a terenurilor cauzate de intense exploatare industriale (sonde de petrol) și agricole (pășunat, plantații de pomi fructiferi - în prezent foarte degradate) de-a lungul timpului. Un alt sit test a fost ales în Dealurile Bughei, situat între văile Slănic și Teleajen, pe arealul administrativ al localităților Slănic și Teișani (jud. Prahova), cu intensă utilizare agricolă în trecut (pășunat și plantații de pomi fructiferi) și procese de abandon în prezent.

Descrierea tipului de sol și identificarea gradului de eroziune în raport cu standardele impuse de metodologia ICPA s-a realizat pe baza a 28 de profile de sol (20 în Dl. Țintea și 8 în Dle Bughei) (fig.1).

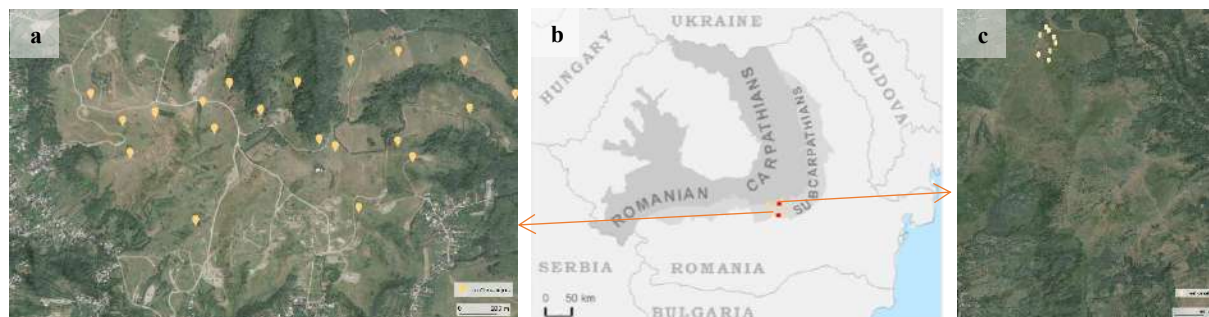


Fig. 1. Repartiția profilelor de sol în zone test din Dealul Țintea (a) și Dealurile Bughei (c) și localizarea studiilor de caz în cadrul Subcarpaților de Curbură (b)

Pentru fiecare profil s-a realizat o descriere ce cuprinde: formula profilului, tipul și grosimea orizontului de la suprafață, gradul de eroziune conform clasificării ICPA, adâncimea orizonturilor și alte observații (conform tabel 2). Locația fiecărui profil a fost înregistrată cu un GNSS de clasă geodezică, cu precizie de $\pm 1-2$ cm, în sistem de coordonate Stereografic 1970. Din totalul de 28 de profile, 36% sunt încadrate în clasa de eroziune moderată, iar 28% într-o clasă de eroziune puternică, ceea ce indică potențialul ridicat al acestor procese în zona subcarpatică (fig. 2).

Tabelul 2. Descrierea profilelor de sol realizate în teren în zonele test selectate

Nr. profil	Formula profil	Orizont1	Grosime orizont 1 (cm)	Grad de eroziune (ICPA, 1987)	Clasa	Adâncimi orizonturi	Observații în teren
P1T	A-B-C	AB	15	Puternic erodat	4		Erodosol, cu puncte de stagnoglezare în B (pete vineții)
P2T	A-B-C	Ao	13	Slab erodat	2	AB: 13-35cm; Btw>35 cm;	Brun argiloiluvial (Preluvosol); stagnoglezare la peste 35 cm în Bt; pantă de 3 grade)
P3T	A-B-C	Ao	21	Neerodat	1	AB: 21-42 cm; Bt > 42 cm;	Conține cuarțit;

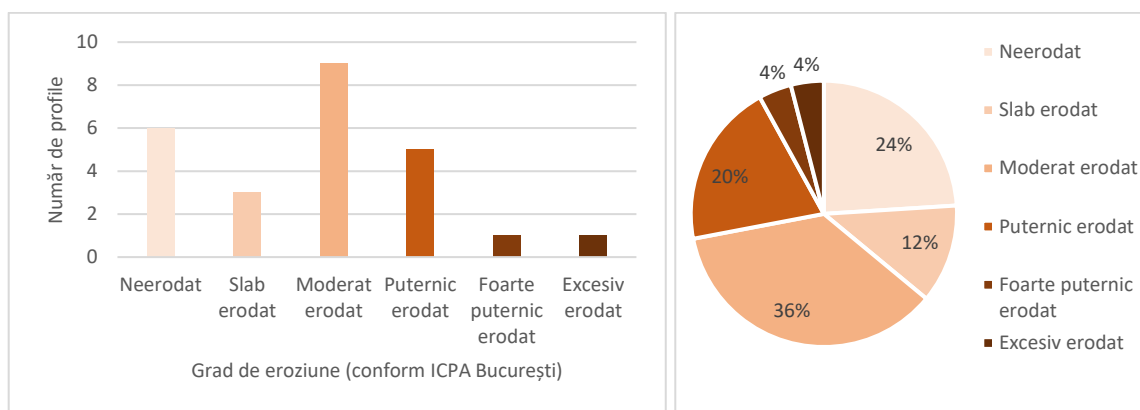


Fig. 2. Distribuția profilelor de sol realizate în teren pe grade de eroziune, conform metodologiei ICPA 1987

Activitatea 1.6. Modelarea factorilor statici care controlează eroziunea solurilor: caracteristicile topografice și proprietățile solurilor;

Factorii statici care controlează eroziunea solurilor sunt considerați cei care au o dinamică temporală lentă, la scara zecilor sau sutelor de ani – suprafața topografică și tipul de sol. Pentru cartografierea acestora s-au utilizat seturi de date multi-scară și multi-sursă (tabelul 3):

Tabelul 3. Datele și sursele datelor folosite pentru modelarea factorilor statici care controlează eroziunea solurilor

Date primare	Anul	Scara / rezoluția spațială	Sursa	Date derivate
Harta topografică a României, ed a II-a	~1980	1:25000	Agentia de Informații Geospațiale a Apărării	Curbe de nivel cu echi-distanța de 10 m => model digital altitudinal (DEM) 10 x 10 m
Planuri topografice	1966-1970	1:5000 (Dl. Țintea)	Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCP)	Curbe de nivel cu echi-distanța de 5 m => model digital altitudinal (DEM) 5 x 5 m
		1:10000 (Dle. Bughei)		Curbe de nivel cu echi-distanța de 5 m => model digital altitudinal (DEM) 5x5 m
SRTM	2000	30 x 30 m	Shuttle Radar Topography Mission, NASA	Modelul DEM la nivel național
Harta solurilor României	1963-1993	1:200000	Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie (ICPA)	Tipurile de sol, clasele texturale;

Factorul topografic. Susceptibilitatea la eroziune crește direct proporțional cu lungimea pantei (distanța între originea scurgerii și zona de acumulare, pe direcția scurgerii), și înclinarea pantei (gradientul unui segment, exprimat de obicei în procente) (Stefanidis et al., 2022). Cu cât versantul este mai înclinat și are o lungime mai mare, scurgerea devine mai accelerată, prin urmare, crește și riscul ca particulele de sol să fie desprinse și transportate de apă. Pentru determinarea acestora s-a

pornit de la modelul digital de elevație al terenului (DEM), din care au fost derivați o serie de parametri intermediari - direcția scurgerii și acumularea scurgerii de pe versant și declivitatea versanților – care au stat la baza calculării factorului topografic lungimea și înclinarea pantei (en. *slope length and steepness*), prin utilizarea tehnicilor GIS (fig. 3) și a formulelor prezente în literatură (Marcinkowski et al., 2022)

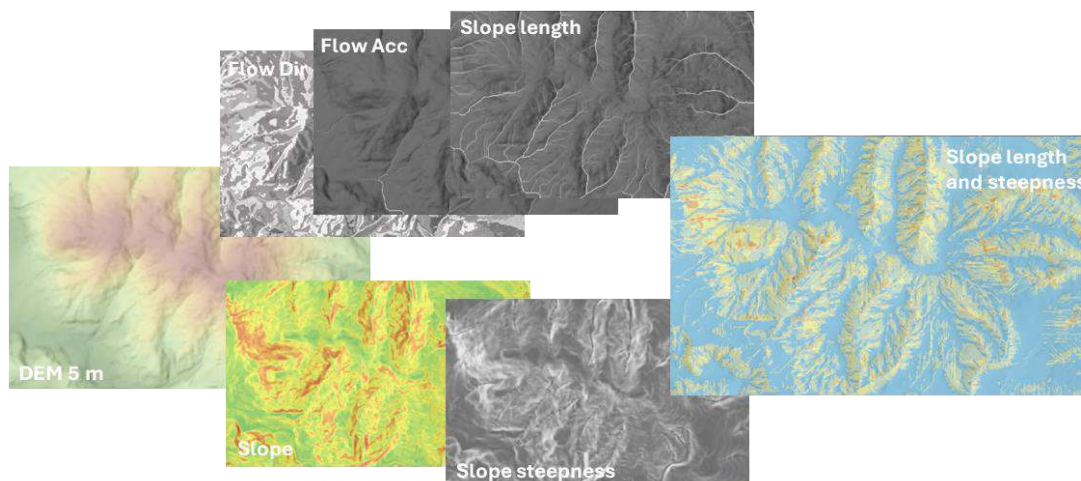


Fig. 3. Modelarea factorului topografic care contribuie la eroziunea solurilor. Exemplificarea fluxului de lucru pentru studiul de caz din Dealul Țintea

Factorul pedologic. Tipurile de sol au susceptibilitate diferită la eroziune, în funcție de proprietățile acestora: textură, conținut de materie organică, structură și permeabilitate. Erodabilitatea solurilor este factorul care arată susceptibilitatea tipurilor de sol și, implicit, a particulelor de sol, la desprindere și transport sub acțiunea precipitațiilor și a scurgerii în suprafață, exprimându-se în $t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$. În ceea ce privește textura (McKague & Eng, n.d.), solurile argiloase, precum și cele cu textură granuloasă (nisipoase) au o rezistență mai mare la desprindere și transport sub acțiunea apei, deci au o erodabilitate mică, în timp ce solurile lutoase au o rezistență mai scăzută la detașare și o erodabilitate medie (fig. 4). În zonele test, predominante sunt solurile argiloase și argilo-lutoase – 68% în Dealurile Bughei, respectiv cele lutoase – 92% în Dealul Țintea (fig. 4). Conținutul de materie organică este o altă proprietate a solului importantă pentru eroziune, cu cât acesta este mai mare, cu atât erodabilitatea solului scade, deoarece reduce desprinderea particulelor ca urmare a impactului picăturilor de ploaie și reduce scurgerea în suprafață, favorizând infiltrarea apei.

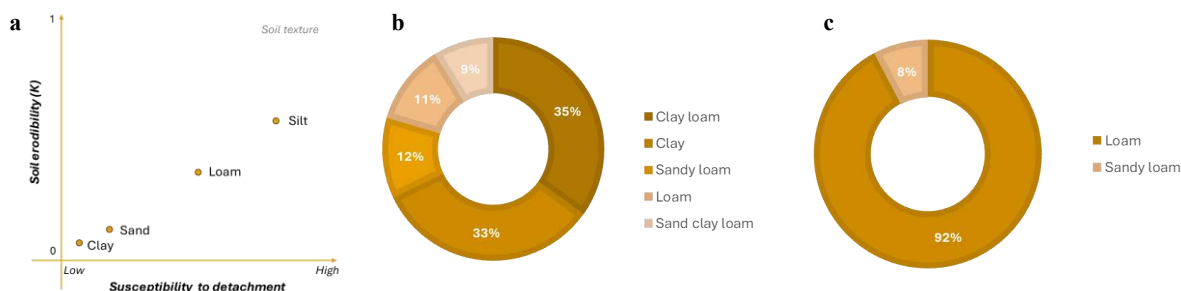


Fig. 4. Relația susceptibilitatea particulelor de sol la desprindere – erodabilitatea solului după criteriul textură (a) și distribuția claselor texturale de sol din zonele test din Dealurile Bughei (b) și Dealul Țintea (c)

Activitatea 1.7. Modelarea factorilor dinamici care controlează eroziunea solurilor: condițiile climatice și acoperirea/utilizarea terenurilor, pentru ultimii 35 de ani, pe baza seriilor de timp de date de teledetecție și GIS;

Între factorii dinamici (ce au o evoluție temporală rapidă) cu impact semnificativ în determinarea potențialului de eroziune a solurilor, se regăsesc precipitațiile și acoperirea/utilizarea terenurilor. Cartografierea acestora s-a realizat pentru două momente temporale 1988 și 2023, acoperind un interval temporal de 35 de ani.

Susceptibilitatea particulelor de sol la spălare în suprafață, prin desprindere / detașare și transport, este direct proporțională cu intensitatea și durata precipitațiilor. Erozivitatea precipitațiilor este factorul care măsoară puterea erozivă a energiei picăturilor de ploaie, exprimată în $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Pentru modelarea erozivității, au fost folosite seturile de date ERA-5 - Copernicus ECMWF (Setchell, 2020) pentru două perioade de referință: 1950-1988 și 2010-2022. Alegerea acestei surse de date este justificată prin: 1) sunt date globale disponibile liber, cu valori zilnice, pe o perioadă extinsă de timp (1950-prezent), la o rezoluție de 9 km, implementat de ECMWF prin Climate Change Service ca parte a programului Copernicus; 2) costurile ridicate pentru obținerea datelor zilnice de la stațiile meteorologice din apropierea zonelor de studiu pentru o perioadă de timp atât de extinsă; 3) situarea zonelor test la distanțe între 16-20 km față de stația meteorologică Câmpina (situată tot în zona subcarpatică), respectiv 13-33 km față de stația meteorologică Ploiești. Având în vedere aspectele menționate, considerăm că datele ERA-5, deja validate în diferite studii, reprezintă o opțiune bună pentru modelarea parametrului de erozivitate a solurilor, însă recomandăm folosirea unor date mai detaliate în măsura disponibilităților. Pentru o acuratețe mai mare a modelării, intenționăm amplasarea în teren pentru sezonul februarie-noiembrie 2024, a unor parcele experimentare de măsurare a impactului precipitațiilor asupra eroziunii solurilor.

Întrucât date despre intensitatea precipitațiilor sunt disponibile liber foarte rar, în literatură există numeroase studii ce propun formule de determinare a erozivității pe baza cantităților medii lunare și medii multi-anuale de precipitații (Morgan et al., 1984; Renard & Freimund, 1994). Prin urmare, au fost testate mai multe formule de determinare a erozivității, concluziile fiind: 1) valorile de erozivitate rezultate prin aplicarea diferitelor formule de calcul, exprimate în aceeași unitate de măsură, sunt foarte diferite, motiv pentru care se recomandă aplicarea acelor formule testate și validate pentru medii temperate; 2) abordarea bazată pe calculul erozivității prin formule care iau în calcul doar cantitățile medii lunare și/sau anuale de precipitații, nu oferă cele mai corecte rezultate, dacă luăm în calcul faptul că la nivelul României, în ultimele decenii, cantitatea de precipitații a scăzut semnificativ (fig. 5), însă evidențele climatice arată o intensificare a evenimentelor extreme caracterizate prin precipitații abundente într-o perioadă scurtă de timp (Meteo România), cu un impact mult mai mare asupra desprinderii și transportului particulelor de sol.

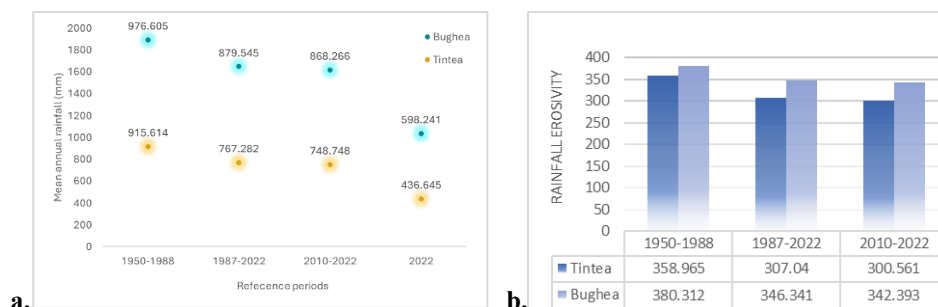


Fig. 5. Comparație între cantitățile de precipitații medii multianuale pentru diferite perioade de referință (a) și modul cum acestea se reflectă în factorul de erozivitate (b)

Acoperirea/utilizarea terenurilor (en. *land cover/use*) a fost cartografiată pe baza imaginilor satelitare Landsat 5 TM (1988) și Sentinel-2 MSI (2023), prin două abordări.

Prima abordare este una obiectivă, bazată pe extragerea indicelui normalizat de diferențiere a vegetației (NDVI) din imagini satelitare, ale cărui valori cuprinse între -1 și 1 sunt direct proporționale cu conținutul de clorofilă, respectiv cu densitatea vegetației. Cu cât densitatea vegetației este mai mare, cu atât solul este mai protejat împotriva eroziunii. Abordarea este una obiectivă în contextul în care valorile pixelului sunt unele absolute, fără a fi grupate în categorii, arătând în același timp caracteristicile bio-fizice ale arealului (conform definiției de acoperire a terenurilor en. *land cover*), fără a ilustra funcționalitatea acestora (sau modul de utilizare al terenurilor de către factorul uman, en. *land use*). Pentru o acuratețe mai mare a informațiilor despre densitatea vegetației, s-au utilizat serii de timp de imagini satelitare din sezonul de vegetație (iulie-septembrie) din care s-a calculat valoarea medie NDVI, pentru a reduce incertitudinile legate de utilizarea unei singure imagini, ale cărui valori ar putea varia în funcție de condițiile temporale și meteorologice specifice zilei în care a fost preluată (fig. 6).

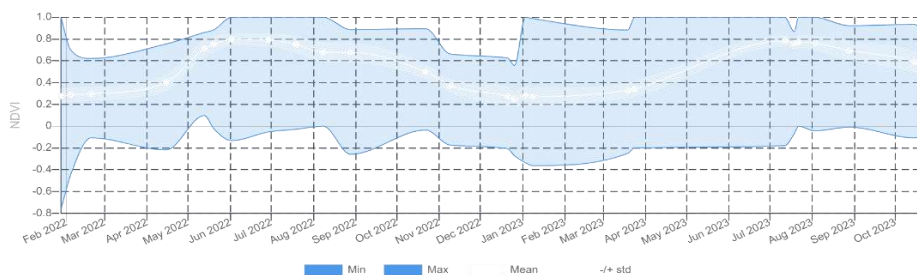


Fig. 6. Variația temporală a indicelui NDVI în perioada 01/01/2022 – 31/12/2023, în Dealurile Bughei

Pe baza indicelui mediu NDVI a fost determinat factorul de management al acoperirii solului cu vegetație, prin utilizarea formulei propuse de (Van der Knijff et al., 2000), ale cărui valori variază între 0 și 1, unde 0 este asociat cu o bună acoperire a solului cu vegetație densă (Fig.7).

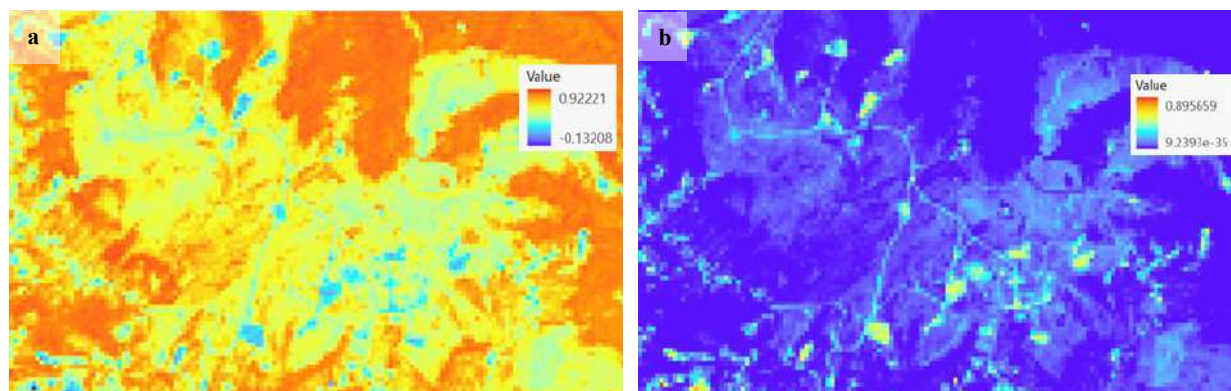


Fig. 7. Valorile medii NDVI pentru Dealul Țintea în anul 2023 (a) și factorul de management al acoperirii cu vegetație (b)

A doua abordare legată de acoperirea/utilizarea terenurilor a vizat extragerea claselor de acoperire/utilizare a terenurilor prin clasificarea supervizată a imaginilor multi-temporale Landsat 5 TM (1988), respectiv Sentinel-2 MSI (2023). Această metodă semi-automată, testată prin algoritmii Support Vector Machine și Random Forest (fig. 8), are un grad de subiectivism mai ridicat, în condițiile în care instruirea algoritmului este bazată pe un set de eșantioane de pixeli din imagini selectat prin interpretare vizuală și pe baza observațiilor de teren. Schema de clasificare a vizat patru categorii:

pădure, asociații de iarbă cu arbuști și/sau arbori, vegetație ierboasă (pășuni) și terenuri fără vegetație, fiecare dintre acestea fiind interpretat ca un rezultat al modului de utilizare a terenurilor și având un potențial diferit la procesele de eroziune a solurilor. Validarea rezultatelor clasificărilor cu puncte de control a ilustrat o acuratețe generală mai mare pentru clasificările bazate pe Random Forest, ceea ce a impus folosirea lor mai departe în analize.

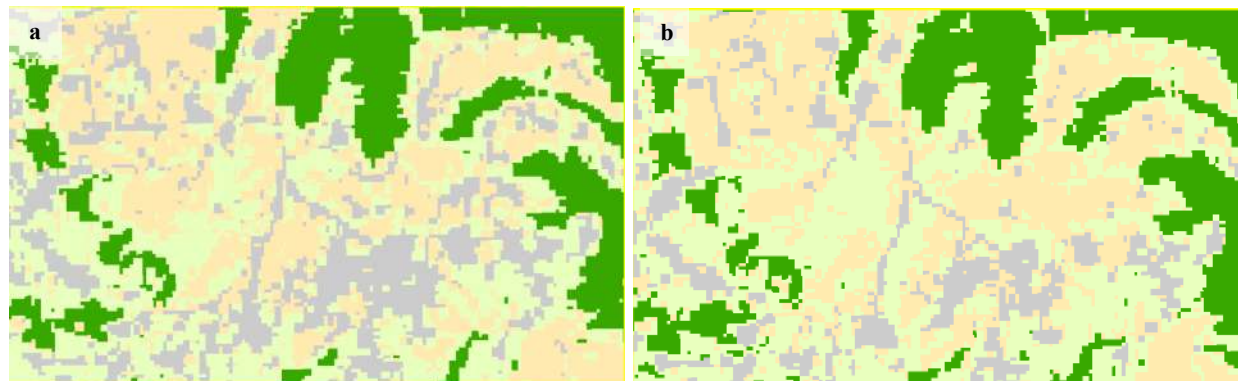


Fig. 8. Clasificări de pixeli pe imagini satelitare multitemporale Sentinel-2 MSI (2023) în Dealul Țintea, prin utilizarea algoritmilor Support Vector Machine (a) și Random Forest (b).

Activitatea 1.8. Definirea fluxului de lucru pentru evaluarea cantitativă a eroziunii potențiale a solurilor în regiuni temperate, bazate pe condițiile actuale;

Având în vedere fundamentarea științifică realizată în activitățile 1.1 - 1.4, am decis utilizarea metodei RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) pentru modelarea potențialului de eroziune a solurilor, având în vedere că aceasta a fost aplicată, testată și validată la diferite scări de analiză și pentru condiții diferite de mediu. Aceasta presupune integrarea a cinci factori potențiali ai eroziunii solului pentru a calcularea pierderilor potențiale de sol în $\text{t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Renard et al., 1997).

$$A = R * K * LS * C * P$$

Unde:

- R = erozivitatea precipitațiilor - componenta climatică a modelului [$\text{MJ mm ha h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$]
- K = erodabilitatea solurilor - componenta pedologică, 0-1 [$\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$]
- LS = lungimea și înclinarea pantei - componenta topografică [fără unitate de măsură]
- C = acoperirea terenurilor cu vegetație, 0-1 [fără unitate de măsură]
- P = practici suport pentru reducerea eroziunii solurilor, 0-1 [fără unitate de măsură]

Factorul P reflectă măsurile adoptate pentru reducerea eroziunii solurilor, acesta variind pe o scară de la 0 la 1, unde 0 înseamnă aplicarea cu succes a unor măsuri, iar 1 lipsa măsurilor. În literatura de specialitate, precum și în ghidurile Uniunii Europene pentru conservarea și protecția solurilor împotriva eroziunii sunt descrise și recomandate o serie de practici, precum: agrosilvicultura (en. *agroforestry*), rotația culturilor agricole (en. *crop rotation*), culturile intercalate, mixte (en. *intercropping*), etc., multe dintre acestea având aplicabilitate pentru terenurile arabile sau plantații de arbori/arbuști fructiferi. Având în vedere popularitatea destul de mică a acestor practici în unele zone, în multe dintre modelările realizate, factorul P este asumat a fi 1, ceea ce indică lipsa unor practici în combaterea eroziunii. Acest lucru ar fi aplicabil și zonelor test din subcarpați, unde nu putem vorbi despre practici pentru combaterea eroziunii, dar nici nu putem atribui același factor (1) întregului areal de analiză, întrucât modul de utilizare a terenurilor variază și reflectă influența antropică. Prin urmare, recomandarea pentru astfel de zone, ar fi ca factorul P să varieze în funcție de tipul de utilizare al

terenurilor, acordându-se valori între 0 și 1 pentru fiecare clasă (tabelul 4), metodă ce a mai fost aplicată în unele studii internaționale (Stefanidis et al., 2022).

Tabelul 4. Valorile factorului P pentru diferite categorii de utilizare a terenurilor

Categoria de utilizare a terenurilor	Valoarea factorului P
Pădure	0.2
Asociații de vegetație ierboasă cu arbori izolați, pomi fructiferi sau arbuști	0.5, 0.6
Fânețe, pășuni	0.7, 0.8
Terenuri cu solul expus (fără vegetație, culturi cu plante rare)	1

Deși metoda aleasă a fost folosită pe scară largă, gradul de noutate pe care îl aduce această activitate rezultă din adaptarea modului de calcul al factorilor la condițiile climatice și datele disponibile la nivel național, în România. Aplicarea modelului RUSLE permite identificarea distribuției terenurilor susceptibile la procesele de eroziune a solurilor, precum și cuantificarea pierderilor potențiale de sol în tone/ha/an, rezultatele fiind clasificate în 6 clase de intensitate: foarte mică, mică, moderată, puternică, foarte puternică și extremă (peste 1 tonă/ha/an).

Activitatea 1.9. Validarea fluxului de lucru cu puncte de control (GCP) colectate în teren în zone test;

Analiza comparativă între harta eroziunii potențiale a solurilor pentru anul 2023 și măsurătorile din teren arată o corespondență a claselor de eroziune de 60% pentru Dl Țintea și doar 25% pentru Dle Bughei. Valorile obținute, deși mici, pot fi considerate încurajatoare, dacă analizăm particularitățile și motivele ce au condus la aceste rezultate: 1) cele două seturi de date sunt diferite, în teren am identificat intensitatea eroziunii (reală), iar în modelare am obținut niște valori potențiale (ar putea fi erodate, la un moment dat); 2) cele două seturi de date sunt la scări diferite: datele din teren exprimă situații punctuale, de detaliu, iar modelarea s-a realizat la rezoluții de 10-30 m, ceea ce înseamnă că unui pixel din grid i-ar putea corespunde în teren un areal de aprox. 900 m² (ex. situația profilului 3 din Dl Țintea, fără eroziune, situat pe un interfluviu îngust, mărginit de versanți afectați de eroziune, încadrat în modelare într-un pixel larg ce are o valoare de eroziune mare ca urmare a medierii valorilor la o rezoluție grosieră); 3) situații cu terenuri care în prezent nu au potențial de eroziune, ca urmare a faptului că sunt împădurite sau protejate de o vegetație densă, dar care în teren au fost identificate ca fiind erodate, fiind vorba despre o eroziune relictă, din trecut, care se păstrează, întrucât scara temporală de refacere a solului erodat este de ordinul zecilor de ani (ex. profilele 14, 15 în Dle Bughei); 4) numărul de profile în teren poate fi nereprezentativ la scara întregului areal (Dle Bughei, 25 km² – 8 profile de sol grupate în partea nordică) – se impune continuarea colectării datelor din teren și creșterea numărului de profile pentru validare și în următoarea etapă a proiectului.

Activitatea 1.10. Modelarea eroziunii potențiale a solurilor și a ratelor de pierdere a solului pe o perioadă de 35 de ani;

În condițiile actuale (2023), la nivelul celor două zone test, se remarcă o intensitate mai mare a potențialului de eroziune a solurilor în Dealul Țintea comparativ cu Dealurile Bughei (fig. 9), cu o valoare medie a pierderilor potențiale de sol de 0,33 t/ha/an la Țintea și 0,08 t/ha/an la Bughea. În termeni de suprafețe identificăm faptul că 32% din arealul Dealului Țintea, respectiv 8% din arealul Dealurilor Bughei sunt incluse într-o clasă cu potențial mare de eroziune, iar 10%, respectiv 1% corespund categoriei de eroziune extremă.

Reluarea modelării potențialului de eroziune a solurilor pentru anul 1988, schimbând factorii dinamici (R, C și P), ilustrează faptul că în ambele zone rata medie de pierdere anuală de sol era semnificativ mai mare, 0,36 t/ha/an în Dl Țintea, respectiv 0,37 t/ha/an în Dle Bughei. În Dl Țintea, 54% din areal se încadra într-o clasă de intensitate ridicată a eroziunii solurilor, în timp de 16% din areal făcea parte din clasa de eroziune extremă. În Dle Bughei, 51% din areal se încadra într-o clasă de eroziune puternică, iar 8% în clasa de eroziune extremă.

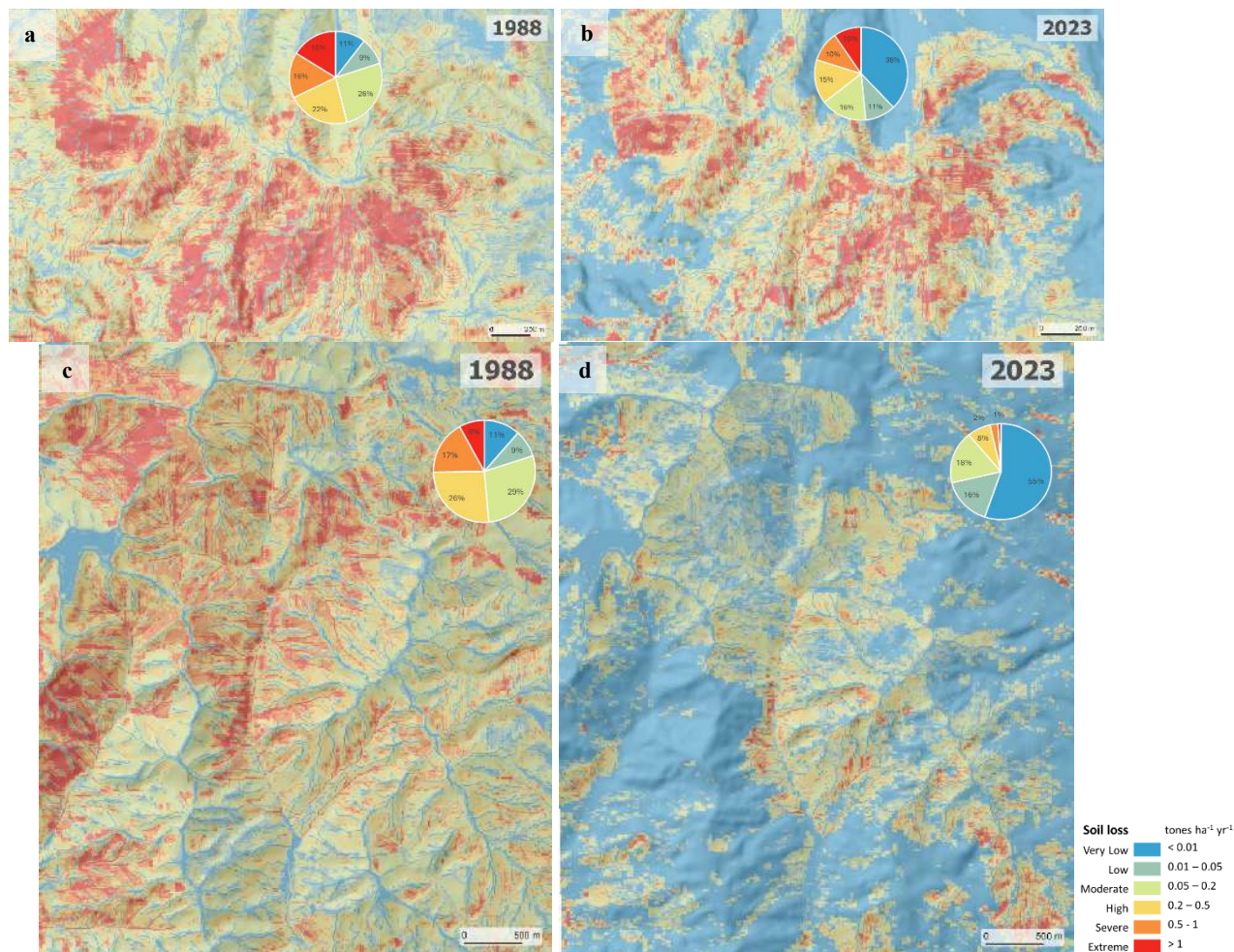


Fig. 9. Potențialul de eroziune a solurilor în zone test și la diferite momente temporale: Dealul Țintea (a -1988, b-2023) și Dealurile Bughei (c-1988 și d-2023)

Activitatea 1.11. Analiza spațio-temporală și statistică asupra schimbării ratelor de eroziune potențială a solurilor (pe o perioadă 35 de ani);

Tabelul 5 pune în evidență situația statistică a dinamicii ratelor potențiale de eroziune pentru ultimii 35 de ani în cele două studii de caz. În ambele areale, tendința este de scădere a ratelor anuale de pierdere de sol, precum și a arealelor afectate de eroziune mare, foarte mare și extremă, mai accentuată în Dle Bughei (-1,23%/an) comparativ cu Dl. Țintea (-0.62%/an).

Tabelul 5. Analiza comparativă asupra dinamicii ratelor și suprafețelor afectate de eroziune între 1988-2023

Indicator	Dl. Țintea			Dle. Bughea		
	1988	2023	2023-1988	1988	2023	2023-1988

Rata medie anuală ($t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	0,56	0,33	-0,23	0,37	0,08	-0,29
Areale în clase de eroziune mare, foarte mare, extremă (%)	54%	32%	-22% (-0,62%/an)	51%	8%	-43% (-1,23%/an)
Areale clasa de eroziune extremă (%)	16%	10%	-6%	8%	1%	-7%

Această evoluție spatio-temporală este strâns corelată cu evoluția factorilor dinamici (R, C și P). Diagramele Sankey ilustrate în figura 10 arată dinamica accentuată a acoperirii/utilizării terenurilor între 1988-2023, pentru ambele areale de studiu, dar în același timp situații complementare. Pentru Dle Bughei (fig 10a) se observă o descreștere a terenurilor cu vegetație joasă și o creștere a pădurilor și a asociațiilor de iarbă cu arbori/tufărișuri, precum și a terenurilor fără vegetație, ca efect al abandonului terenurilor agricole (pășunilor), ceea ce confirmă descreșterea accentuată a potențialului de eroziune. În Dl Țintea (fig. 10b) se observă o descreștere a terenurilor fără vegetație, precum și a asociațiilor de iarbă cu arbori/tufărișuri și a pădurilor, ca efect al 1) scăderii activităților industriale de exploatare a petrolului și 2) degradării livezilor de pomi fructiferi. În această ultimă situație, suprafețele afectate de eroziune extremă se mențin ridicate deoarece activitățile antropice se continuă (exploatare de petrol și pășunat), deși au fost considerabil diminuate, iar pe terenurile afectate de eroziune extremă, instalarea și refacerea vegetației se realizează cu dificultate.

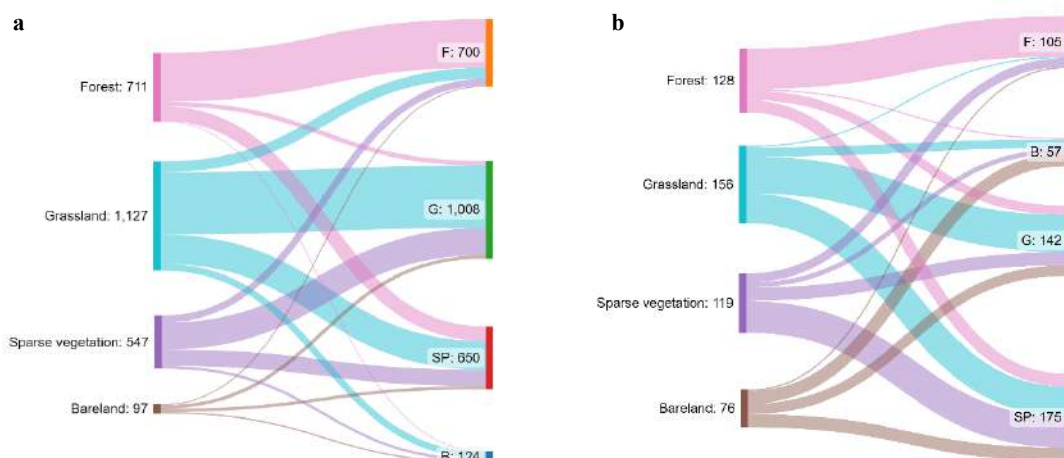


Figura 10. Diagrame Sankey ce arată transformările claselor de acoperire/utilizare a terenurilor între 1988 și 2023, în Dle Bughei (a) și Dl Țintea (b)

Activitatea 1.12. Caracterizarea variabilității procesului de eroziune a solurilor în România;

Statisticile la nivel mondial sau continental, proiectate pe termen mediu și lung, arată o intensificare a proceselor de eroziune a solurilor, în primul rând din cauza schimbărilor climatice. Însă la nivel regional sau local, tendința generală poate fi ușor diferită. Spre exemplu, în cazul Poloniei, Marcinkowski et al. (2022) au modelat impactul schimbărilor climatice asupra eroziunii solurilor la nivelul național, rezultând că valorile potențiale de pierdere de sol vor crește în condițiile creșterii cantităților anuale de precipitații. Însă, la nivelul României, situația poate fi diferită, întrucât, la latitudini mai mici, cantitățile anuale de precipitații sunt în descreștere ca efect al schimbărilor climatice. Prin urmare, analizând dinamica eroziunii solurilor în ultimii 35 de ani, ne-am propus să identificăm care factor dinamic a contribuit mai mult la schimbările ratei de pierdere de sol. În acest sens, am reluat analiza RUSLE în diferite scenarii, asumându-ne că doar un factor se schimbă în intervalul 1988-2023. Rezultatele (tabelul 6) arată că: 1) în oricare scenariu de calcul, ratele potențiale de eroziune a solurilor scad în ambele zone din Subcarpați; 2) scăderea este mai drastică în condițiile dinamicii factorului C, cu sau fără factorul P, prin urmare acoperirea terenurilor are un impact mai

mare asupra dinamicii ratelor de eroziune; 3) dacă ne asumăm că $P = 1$ (lipsa practicilor împotriva eroziunii solurilor) și nu luăm în calcul ca acesta diferă și în funcție de modul în care oamenii utilizează terenurile, atunci ratele de eroziune ale solurilor sunt considerabil mai mari.

Tabelul 6. Ratele medii de pierderi potențiale de sol și diferențele între 1988 și 2023 pentru DI Țintea și Dle Bughei, în diferite scenarii

Scenarii	Rata medie de pierdere de sol (t ha ⁻¹ yr ⁻¹) în DI. Țintea			Rata medie de pierdere de sol (t ha ⁻¹ yr ⁻¹) în Dle. Bughei		
	1988	2023	2023-1988	1988	2023	2023-1988
S1: R stabil (1987-2022)	0,48	0,35	-0,13	0,34	0,08	-0,26
S2: R stabil (1987-2022), P=1 (lipsa practicilor)	0,68	0,44	-0,24	0,54	0,1	-0,44
S3: C stabil (2023)	0,4	0,34	-0,06	0,09	0,08	-0,01
S4: C stabil (2023), P=1 (lipsa practicilor)	0,51	0,43	-0,08	0,12	0,1	-0,02

Activitatea 1.13. Prognoza ratelor potențiale de pierdere a solurilor în contextul dinamicii factorului acoperirea/utilizarea terenurilor;

Prognoza ratelor potențiale de pierdere a solului s-a realizat în mai multe scenarii de evoluție a factorului acoperirea/utilizarea terenurilor. Pentru exemplificare, au fost selectate două scenarii (fig. 11): i) unul optimist, în care se intervine prin practici împotriva eroziunii solurilor (agrosilvicultură pe terenurile cu asociații de iarbă și arbori/arbuști, pomi fructiferi pe pășuni și arbuști pe terenurile fără vegetație) și ii) unul pesimist, care arată ceea ce s-ar întâmpla cu terenurile dacă vegetația înaltă (păduri, arbuști) ar fi îndepărtată. Pentru calcularea acestora, factorul C a fost asumat a fi 0.1, în timp ce factorul P a fost ajustat pentru fiecare scenariu după utilizarea terenurilor, cu valori între 0 și 1.

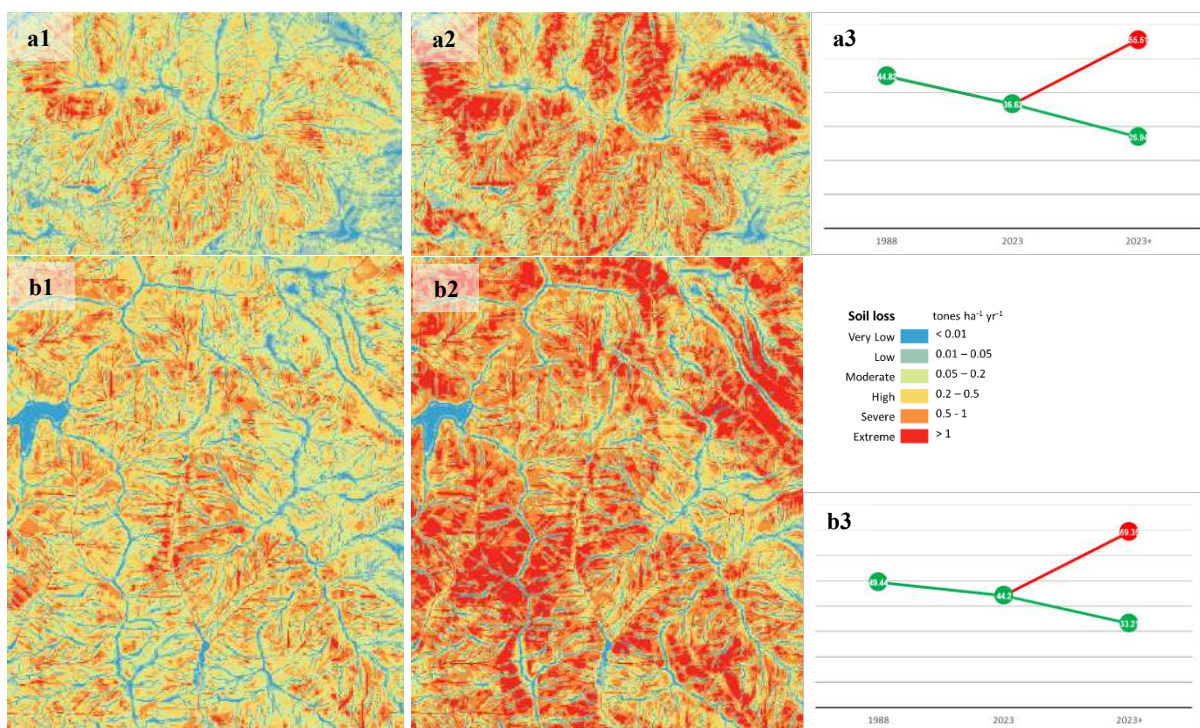


Fig. 11. Ratele potențiale de eroziune la momentul 2023+ în condițiile modificării factorului P, pentru zonele test din DI Țintea (a) și Dle Bughei (b), în scenarii optimiste (1) și pesimiste (2) și evoluția ratei medii de eroziune (3).

Activitatea 2.7. Prezentarea rezultatelor cercetării în cadrul unor conferințe internaționale și naționale;

Rezultatele obținute în etapa 1 a proiectului au fost prezentate de membrii proiectului în decursul anului 2023 în cadrul a patru conferințe internaționale, astfel:

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., Bizdădea 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.

Activitatea 2.9. Elaborarea documentației proiectului și a rapoartelor științifice;

Printre primele activități ale etapei 1 a fost și crearea site-ului proiectului, cu scopul de a disemina activitățile și rezultatele obținute. Adresa web a site-ului este <https://rs4soil.unibuc.ro/>, integrat ca subdomeniu al site-ului Universității din București. Acesta este structurat în cinci pagini, oferind informații generale despre proiect, obiective, echipa de proiect, activități și rezultate (inclusiv participări la conferințe și publicații). De asemenea, a fost creat și un logo al proiectului, pentru o identificare mai ușoară a acestuia.

Concluzii și perspective

Rezultatele obținute în prima etapă a proiectului contribuie la cercetarea fundamentală a eroziunii solurilor din România, atât din perspectivă teoretică, prin identificarea arealelor susceptibile și a ratelor potențiale de pierdere de sol pentru prezent, trecut și viitor (inclusiv dinamica în diferite scenarii), dar și din perspectivă tehnică, oferind un instrument 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.

Având în vedere rezultatele obținute în prima etapă a proiectului, ne propunem următoarele:

- a) Continuarea colectării datelor din teren (profile de sol, puncte GNSS, imagini aeriene), în vederea obținerii unui set de măsurători in-situ semnificativ statistic, precum și monitorizarea efectului precipitațiilor asupra eroziunii solurilor în parcele experimentale în sezonul februarie - noiembrie 2024, în vederea obținerii unor date detaliate pentru validarea parametrului climatic al modelului.
- b) Trimiterea spre publicare a rezultatelor etapei 1. În acest sens, un manuscris este în pregătire și va trimite spre evaluare la *European Journal of Soil Sciences* până la 15 ianuarie 2024, ca urmare a acceptării abstractului acestuia în numărul special editat în urma conferinței internaționale Wageningen Soil Conference 2023.
- c) Continuarea activităților de cercetare din etapa a doua a proiectului.

III. Sumar al progresului proiectului

Rezultate estimate	Grad de îndeplinire	Observații
- Fundamentarea științifică, teoretică și tehnică, a temei de cercetare;	100%	Activitățile: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4
- Bază de date geospațială privind eroziunea solurilor în România: a) date obținute din măsurători în teren: caracterizarea profilelor de sol, puncte GNSS, ortofotoplanuri; b) straturi de date în format vector sau raster reprezentând factorii statici și dinamici ce controlează procesele de eroziune a solurilor și parametrii caracteristici ai acestora; c) seturi de date grid și hărți referitoare la eroziunea potențială a solurilor, ratele potențiale de pierdere a solului pentru diferite momente temporale, schimbări ale ratelor de pierdere a solului, variabilitatea eroziunii solurilor, prognoză asupra ratelor potențiale de pierdere a solului pentru momente viitoare;	100%	Activitățile: 1.5 1.6, 1.7 1.10, 1.11, 1.12, 1.13
- Flux de lucru (metodologie) pentru modelarea eroziunii potențiale a solurilor în România.	100%	Activitățile: 1.8, 1.9
- Participarea la minim o conferință internațională;	400%	Activitatea 2.7

Mulțumiri. Adresăm mulțumiri colegilor conf. univ. dr. Ionuț Săvulescu și lect. univ. dr. Constantin Nistor de la Facultatea de Geografie din cadrul Universității din București pentru susținerea oferită pentru bunul demers al acestui proiect, prin discuții, interpretări și însoțirea în campanii de teren.

Referințe bibliografice

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Alexakis, D. D., Manoudakis, S., Agapiou, A., & Polykretis, C. (2021). Towards the Assessment of Soil-Erosion-Related C-Factor on European Scale Using Google Earth Engine and Sentinel-2 Images. *Remote Sensing*, 13(24), 5019. <https://doi.org/10.3390/rs13245019>
- Arias-Navarro, C., Panagos, P., Jones, A., Amaral, M. J., Schneegans, A., Van Liedekerke, M., Wojda, P., & Montanarella, L. (2023). Forty years of soil research funded by the European Commission: Trends and future. A systematic review of research projects. *European Journal of Soil Science*, 74(5), e13423. <https://doi.org/10.1111/ejss.13423>
- Bilașco, Ș., Horvath, C., Cocean, P., Sorocovschi, V., & Oncu, M. (2009). Implementation of the USLE model using GIS techniques. Case study the Someșean Plateau. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), 123–132.
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A. M., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., ... Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of The Total Environment*, 780, 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>
- Cao, Y., Hua, L., Tang, Q., Liu, L., & Cai, C. (2023). Evaluation of monthly-scale soil erosion spatio-temporal dynamics and identification of their driving factors in Northeast China. *Ecological Indicators*, 150, 110187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110187>
- Cillis, G., Nolè, G., Lanorte, A., Santarsiero, V., Tucci, B., Scorza, F., & Murgante, B. (2021). Soil Erosion and Land Degradation in Rural Environment: A Preliminary GIS and Remote-Sensed Approach. In O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, C. Garau, I. Blečić, D. Taniar, B. O. Apduhan, A. M. A. C. Rocha, E. Tarantino, & C. M. Torre (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021* (Vol. 12954, pp. 682–694). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86979-3_48
- Fang, H., & Fan, Z. (2020). Assessment of Soil Erosion at Multiple Spatial Scales Following Land Use Changes in 1980–2017 in the Black Soil Region, (NE) China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7378. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207378>

- FAO. (2019). *Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management*.
- FAO, & ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resource (SWSR)—Main Report* (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soil).
- Florea, N., Bălăcescu, V., Răuță, C., & Canarache, A. (1986). *Metodologia elaborării studiilor pedologice. Partea a III-a: Indicatori ecopedologici: Vol. III*. Institutul de Cercetări Pentru Pedologie și Agrochimie.
- Fulajtár, E., & Janský, L. (2001). Soil erosion and soil conservation. *Slovak: Vodna Erozia Počdy a Protierozna Ochrana.* Bratislava: VU POP a PRIFUK.
- Ghosal, K., & Das Bhattacharya, S. (2020). A Review of RUSLE Model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0>
- Guo, Y., Peng, C., Zhu, Q., Wang, M., Wang, H., Peng, S., & He, H. (2019). Modelling the impacts of climate and land use changes on soil water erosion: Model applications, limitations and future challenges. *Journal of Environmental Management*, 250, 109403. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109403>
- Gupta, H. (2023, January 30). *Why Is Soil Important? Soil Sustainability & Our Future*. ClimateAi. <https://climate.ai/blog/the-importance-of-soil-sustainability-to-our-future/>
- Ionita, I., Radoane, M., & Mircea, S. (2006). Romania. In J. Boardman & J. Poesen (Eds.), *Soil Erosion in Europe* (1st ed., pp. 155–166). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470859202.ch13>
- Li, Z., & Fang, H. (2016). Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 163, 94–117. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.10.004>
- Luetzenburg, G., Bittner, M. J., Calsamiglia, A., Renschler, C. S., Estrany, J., & Poepl, R. (2020). Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz – Austria, Can Revull – Spain. *Science of The Total Environment*, 704, 135389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135389>
- Ma, X., Zhao, C., & Zhu, J. (2021). Aggravated risk of soil erosion with global warming – A global meta-analysis. *CATENA*, 200, 105129. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105129>
- 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>
- McKague, K., & Eng, P. (n.d.). 23-005—*Universal Soil Loss Equation (USLE)*.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268–13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Morales-Castilla, I., García De Cortázar-Atauri, I., Cook, B. I., Lacombe, T., Parker, A., Van Leeuwen, C., Nicholas, K. A., & Wolkovich, E. M. (2020). Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(6), 2864–2869. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906731117>
- Morgan, R. P. C., Morgan, D. D. V., & Finney, H. J. (1984). A predictive model for the assessment of soil erosion risk. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 30, 245–253. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(84\)80025-6](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(84)80025-6)
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A Synthesis of Land Use/Land Cover Studies: Definitions, Classification Systems, Meta-Studies, Challenges and Knowledge Gaps on a Global Landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- Novara, A., Pisciotto, A., Minacapilli, M., Maltese, A., Capodici, F., Cerdà, A., & Gristina, L. (2018). The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor: A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches. *Science of The Total Environment*, 622–623, 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.272>
- Owens, P. N. (2020). Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: A review of human impacts during a period of rapid global environmental change. *Journal of Soils and Sediments*, 20(12), 4115–4143. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02815-9>
- Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poesen, J., & Borrelli, P. (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy*, 124, 380–392. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.012>
- 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>
- Patriche, C. V. (2017). Soil Erosion Modelling. In M. Radoane & A. Vespremeanu-Stroe (Eds.), *Landform Dynamics and Evolution in Romania* (pp. 397–423). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32589-7_17
- Patriche, C. V. (2019). Quantitative assessment of rill and interrill soil erosion in Romania. *Soil Use and Management*, 35(2), 257–272. <https://doi.org/10.1111/sum.12475>

- 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>
- Poesen, J. (2018). Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(1), 64–84. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Porto, P., Bacchi, M., Preiti, G., Romeo, M., & Monti, M. (2022). Combining plot measurements and a calibrated RUSLE model to investigate recent changes in soil erosion in upland areas in Southern Italy. *Journal of Soils and Sediments*, 22(3), 1010–1022. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03119-2>
- Prăvălie, R. (2021). Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. *Earth-Science Reviews*, 220, 103689. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103689>
- Prăvălie, R., Patriche, C., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., Bandoc, G., & Sfică, L. (2020). Spatial assessment of land sensitivity to degradation across Romania. A quantitative approach based on the modified MEDALUS methodology. *CATENA*, 187, 104407. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104407>
- Prăvălie, R., Patriche, C., Țîșcovschi, A., Dumitrașcu, M., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., & Bandoc, G. (2020). Recent spatio-temporal changes of land sensitivity to degradation in Romania due to climate change and human activities: An approach based on multiple environmental quality indicators. *Ecological Indicators*, 118, 106755. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106755>
- Prăvălie, R., Săvulescu, I., Patriche, C., Dumitrașcu, M., & Bandoc, G. (2017). Spatial assessment of land degradation sensitive areas in southwestern Romania using modified MEDALUS method. *CATENA*, 153, 114–130. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.011>
- Puente, C., Olague, G., Trabucchi, M., Arjona-Villicaña, P., & Soubervielle-Montalvo, C. (2019). Synthesis of Vegetation Indices Using Genetic Programming for Soil Erosion Estimation. *Remote Sensing*, 11(2), 156. <https://doi.org/10.3390/rs11020156>
- 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.
- Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157(1), 287–306. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4)
- Rodrigo-Comino, J. (2018). Five decades of soil erosion research in “terroir”. The State-of-the-Art. *Earth-Science Reviews*, 179, 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.014>
- Sepuru, T. K., & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.10.005>
- Setchell, H. (2020, February 19). *ECMWF Reanalysis v5* [Text]. ECMWF. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
- Stefanidis, S., Alexandridis, V., & Ghosal, K. (2022). Assessment of Water-Induced Soil Erosion as a Threat to Natura 2000 Protected Areas in Crete Island, Greece. *Sustainability*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su14052738>
- Sulistyo, B. (2016). The effect of choosing three different C factor formulae derived from NDVI on a fully raster-based erosion modelling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47, 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012030>
- Van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). *Soil erosion risk: Assessment in Europe*. European Soil Bureau, European Commission Brussels.
- Van Rompaey, A. J., Vieillefont, V., Jones, R. J., Montanarella, L., Verstraeten, G., Bazzoffi, P., Dostal, T., Krasa, J., de Vente, J., & Poesen, J. (2003). Validation of soil erosion estimates at European scale. *European Soil Bureau Research, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR*, 20827.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1960). A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Transactions 7th Int. Congr. Soil Sci.*, 1, 418–425.
- Zisu I., & Nășui D. (2015). Using Universal Soil Loss Equation for soil erosion assessment in agricultural land from Lugoj hills. *Geographica Timisiensis*, XXIV(2), 13–23.

Director de proiect:
Vîrghileanu Marina-Ramona