* DORIN LELEA *
DORIN.LELEA@UPT.RO
LOCAL 15.05.2025 14:41
20.01.2025 20:28 - 20.01.2028 20:28
UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN TIMISOARA
Angajat UPT
20110420940401bd89332de2924a2697

Metode avansate bazate pe GIS şi teledetecție pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune, în amenajările hidrotehnice şi hidroameliorative. Studii de caz: bazinul hidrografic Crișul Alb

Teză destinată obţinerii
titlului ştiinţific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timişoara
în domeniul Inginerie Civilă şi Instalaţii
de către

Ing. Loredana COPĂCEAN

Preşedintele comisiei:	Prof.univ.dr.ing. Florescu Constantin
Conducători ştiinţifici:	Prof.univ.dr.ing. Man Teodor Eugen
	Prof.univ.dr.ing. Herban Sorin
Referenţi ştiinţifici:	Prof.univ.dr.ing. Maftei Carmen Elena
	Prof.univ.dr.ing. Rogobete Gheorghe
	Prof.univ.dr.ing. Popescu Cosmin Alin
	Prof.univ.dr.ing. Cojocariu Luminiţa

Ziua susţinerii tezei: 24 martie 2025

BUPT

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

1. Automatică
2. Chimie
3. Energetică
4. Inginerie Chimică
5. Inginerie Civilă
6. Inginerie Electrică
7. Inginerie Electronică şi Telecomunicaţii
8. Inginerie Industrială
9. Inginerie mecanică
10. Ştiinţa Calculatoarelor
11. Ştiinţa şi Ingineria Materialelor
12. Ingineria Sistemelor
13. Inginerie Energetică
14. Calculatoare şi Tehnologia Informaţiei
15. Ingineria Materialelor
16. Inginerie şi Management
17. Arhitectură
18. Inginerie Civilă și Instalații
19. Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

Universitatea Politehnica Timişoara a iniţiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoştinţelor şi rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Şcolii doctorale a universităţii. Seriile conţin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susţinute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timişoara, 2024

Această publicaţie este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicaţii, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustraţiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare şi permisiunea pentru utilizare obţinută în scris din partea Universităţii Politehnica Timişoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300223 Timişoara, Bd. Vasile Pârvan 2B
Tel./fax 0256 404677
e-mail: editura@upt.ro

BUPT

Cuvânt înainte

Prezenta teză de doctorat a fost realizată în urma unor cercetări amănunțite și a unei documentări de specialitate desfășurate în cadrul Departamentului de Hidrotehnică al Facultății de Construcţii din Universitatea Politehnica Timișoara. În această perioadă, am avut oportunitatea de a aprofunda metode avansate bazate pe GIS și teledetecție, cu aplicabilitate directă în evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune în cadrul amenajărilor hidrotehnice și hidroameliorative, având ca studiu de caz bazinul hidrografic Crișul Alb.

Doresc să adresez mulțumiri deosebite conducătorilor științifici, domnilor Prof.univ. emerit dr.ing.dr.h.c. Man Teodor Eugen și Prof.univ.dr.ing. Herban Sorin, pentru îndrumarea competentă, profesionalismul și sprijinul oferit pe tot parcursul cercetării. Contribuția lor valoroasă a fost esențială în structurarea și aprofundarea tematicii abordate, oferindu-mi libertatea de a explora și dezvolta noi direcții de cercetare în domeniul tehnologiilor geospațiale aplicate hidrotehnicii.

Îmi exprim, de asemenea, recunoștința față de membrii comisiei de îndrumare, Conf.univ.dr.ing. Vîlceanu Beatrice, Șef lucrări dr.ing. Crețan Alina Ioana și Șef lucrări dr.ing. Beilicci Robert, a căror contribuție a fost esențială în desfășurarea cercetării. Le sunt recunoscătoare pentru sprijinul constant, sugestiile valoroase și implicarea activă pe tot parcursul elaborării acestei lucrări.

Totodată, îmi exprim profunda recunoștință față de referenții științifici, Prof.univ.dr.ing. Maftei Carmen Elena, Prof.univ.dr.ing. Rogobete Gheorghe, Prof.univ.dr.ing. Popescu Cosmin Alin și Prof.univ.dr.ing. Cojocariu Luminița, pentru analiza riguroasă și atentă a tezei, pentru observațiile pertinente și recomandările valoroase oferite pe parcursul procesului de evaluare, contribuind astfel în mod semnificativ la îmbunătățirea clarității, consistenței și calității științifice a acestei lucrări.

Doresc să mulțumesc Școlii Doctorale din cadrul Universității Politehnica Timișoara și Departamentului de Hidrotehnică al Facultății de Construcţii, pentru suportul logistic, sprijinul și îndrumările oferite pe tot parcursul activității de cercetare. De asemenea, adresez mulțumiri instituțiilor de profil care mi-au furnizat date de specialitate, facilitând astfel realizarea analizelor și studiilor incluse în această teză.

Această lucrare reprezintă o sinteză a unei munci îndelungate, ghidată de dorința de a aduce contribuții relevante în domeniul hidrotehnicii și al tehnologiilor geospațiale aplicate în evaluarea și gestionarea riscurilor hidrologice. Sper ca rezultatele obținute să fie utile specialiștilor din domeniu și să contribuie la dezvoltarea viitoare a metodologiilor de analiză și predicție în acest sector.

Timișoara, martie 2025

Ing. Loredana Copăcean

BUPT

COPĂCEAN, Loredana

Metode avansate bazate pe GIS şi teledetecţie pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune, în amenajările hidrotehnice şi hidroameliorative. Studii de caz: bazinul hidrografic Crișul Alb

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2025, 208 pagini, 64 figuri, 9 tabele.

ISSN:
ISBN:

Cuvinte cheie
Bazin hidrografic, Crișul Alb, GIS, teledetecție, analiză geospațială, inundații, eroziune, susceptibilitate, modelare hidraulică, îmbunătățiri funciare

Rezumat
Cercetarea se concentrează pe estimarea riscurilor hidrogeomorfologice, precum inundațiile și eroziunea, în bazinul Crișului Alb, folosind metode moderne de evaluare, având în vedere vulnerabilitatea acestuia la astfel de fenomene. Scopul lucrării este aplicarea unor fluxuri de lucru bazate pe metode avansate de analiză, utilizând tehnici GIS și date de teledetecția, pentru evaluarea fizico-geografică complexă, pentru estimarea riscurilor de inundații și eroziune şi pentru modelarea hidrologică și hidraulică, în bazinul Crișului Alb. Cercetările au implicat utilizarea datelor geospațiale complexe din diverse surse (DEM, LULC, date hidrologice și climatice) și aplicarea unor tehnici avansate de modelare geospațială (GIS) și modelare hidraulică (HEC-RAS), cu accent pe evaluarea riscurilor de inundații și eroziune. Datele au fost prelucrate prin software-uri precum ArcGIS, TerrSet, și HEC-RAS. Bazinul Crișului Alb a fost analizat detaliat, sub aspect geomorfologic şi climatic, factori care influențează direct riscurile de inundații și eroziune. S-a analizat dinamica utilizării terenurilor (1990 – 2018); rezultatele au arătat o creștere semnificativă a suprafețelor arabile și o reducere a zonelor umede, ceea ce poate agrava riscul de inundații și degradarea biodiversității. De asemenea, s-a făcut predicţia utilizării terenurilor în viitor (2035), cu implicaţii în managementul resurselor naturale. Estimarea susceptibilității la inundații a integrat zece factori relevanți, cu implicaţii în producerea inundaţiilor. Hărțile rezultate au arătat că cca. 12% din suprafața bazinului este expusă unui risc mare de inundații, în special în câmpiile joase și în proximitatea râurilor. Modelarea spațială a eroziunii solului a evidențiat că zonele montane și de deal sunt cele mai vulnerabile din cauza pantei abrupte și a precipitațiilor intense. Eroziunea severă (21-40 t/ha/an) în anumite zone, sugerează necesitatea unor intervenții urgente de reîmpădurire, terasare și management agricol conservator. Modelarea hidraulică a râului Cigher a oferit o înțelegere profundă a comportamentului apelor în diverse scenarii de debite și niveluri, indicând că zonele cu risc maxim de inundații necesită intervenții tehnice urgente, cum ar fi îmbunătățirea digurilor și a canalelor de desecare. Studiul a demonstrat că utilizarea tehnologiilor GIS și a teledetecției este esențială pentru a oferi o imagine clară asupra riscurilor de inundații și eroziune în bazinul Crișului Alb, contribuind astfel la dezvoltarea unor soluții de management durabil, pentru protejarea resurselor naturale și a comunităților.

BUPT

CUPRINS

Glosar de termeni/Abrevieri 9
Ghid de termeni 11
Lista de figuri 15
Lista de tabele 17
Scurt istoric al progresului ştiinţific în domeniul cercetărilor 18
PARTEA I-a
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL TEMEI 32
1. Introducere şi probleme generale 32
1.1. Justificarea actualităţii temei de cercetare 32
1.2. Obiectivele tezei de doctorat şi raportarea acestora la cercetările existente 34
1.3. Evenimente hidrogeomorfologice de risc major. Definiţii, impact și relevanță în contextul schimbărilor climatice 35
1.3.1 Definirea evenimentelor hidrogeomorfologice de risc major 35
1.3.1.1. Definiția și importanța studiului evenimentelor de risc major 35
1.3.1.2. Explicarea conceptelor de inundaţii şi eroziune, ca fenomene naturale cu impact global 36
1.3.2. Relevanța subiectului în contextul schimbărilor climatice 36
1.3.2.1. Rolul schimbărilor climatice în intensificarea și frecvența evenimentelor de risc major 37
1.3.2.2. Impactul potențial al fenomenelor de risc hidrogeomorfologic asupra societăţii și mediului 37
1.4. Norme legislative aplicabile în România, în domeniul îmbunătăţirilor funciare, apelor şi protecţiei mediului 38
2. Inundațiile la nivel global și regional: mecanisme, distribuție geografică și estimări geomatice 42
2.1. Mecanisme şi factorii care contribuie la producerea inundaţiilor 42
2.2. Analiza globală a inundațiilor 46
2.2.1. Distribuția geografică a inundațiilor majore 46
2.2.2. Exemple de inundaţii produse recent, cu impact global semnificativ 47
2.3. Riscurile de inundaţii în România 48
2.3.1. Analiza regiunilor vulnerabile din România (bazinele râurilor mari) 49
2.3.2. Istoric al inundaţiilor majore din România și impactul acestora asupra comunităţilor și economiei 50
2.3.3. Măsuri luate de autoritățile române pentru reducerea riscurilor (sisteme de alertă, investiții în infrastructura de protecție) 51
2.4. Lucrări hidrotehnice şi de îmbunătăţiri funciare pentru prevenirea şi combaterea efectelor inundaţiilor 52
2.5. Tehnici şi metode geomatice de analiză şi predicţie a inundaţiilor 55
3. Eroziunea, la nivel global și regional: mecanisme, distribuție geografică și estimări geomatice 59

BUPT

3.1. Mecanisme şi factorii care contribuie la producerea eroziunii 59
3.2. Analiza globală a eroziunii 61
3.2.1. Distribuția geografică a zonelor afectate de eroziune 62
3.2.2. Exemple de zone afectate de eroziunea solului cu impact semnificativ 63
3.3. Analiza riscurilor de eroziune în Europa 63
3.4. Riscurile de eroziune în România 65
3.5. Lucrări de îmbunătăţiri funciare pentru prevenirea şi combaterea efectelor eroziunii solului 66
3.6. Tehnici şi metode geomatice de analiză şi predicţie a eroziunii 68
PARTEA A II-A
REZULTATELE CERCETĂRILOR PROPRII 70
4. Modele şi tehnici geospațiale în studiul integrat al bazinului Crișul Alb 70
4.1. Scop şi obiective 70
4.2. Materiale şi metode 71
4.2.1. Materiale şi software-uri utilizate 71
4.2.2. Metodologia de cercetare 71
4.3. Analiza teritorială a bazinului hidrografic Crişul Alb utilizând metode GIS 73
4.3.1. Încadrarea în zonă a bazinului Crişul Alb 73
4.3.2. Interacţiunea climatică în producerea fenomenelor de risc Hidrogromorfologic 74
4.3.3. Analiza pedologică şi riscurile hidrogromorfologice asociate 77
4.4. Evaluarea hidrografică şi istorică a bazinului râului Crişul Alb 79
4.4.1. Profilul hidrografic al Crişului Alb şi al afluenţilor săi 79
4.4.2. Diviziuni hidrografice în bazinul Crişul Alb 81
4.4.3. Retrospectiva fenomenelor de risc hidrogeomorfologic 81
4.4.4. Analiza istorică a lucrărilor de Îmbunătăţiri Funciare 83
4.5. Tendințe și proiecții în utilizarea terenurilor 83
4.5.1. Analiza dinamicii terenurilor în intervalul 1990 – 2018 84
4.5.2. Predicţii privind modul de utilizare a terenurilor în anul 2035. Scenarii și tendințe 89
4.5.3. Analiza impactului schimbărilor în utilizarea terenurilor 92
4.6. Concluzii şi discuţii 94
5. Metode avansate de estimare a susceptibilităţii la inundații bazate pe GIS și teledetecție, în contextul îmbunătățirilor funciare. Studiu de caz: bazinul Crișul Alb 96
5.1. Scop şi obiective 96
5.2. Materiale şi metode 97
5.2.1. Materiale şi software-uri utilizate 97
5.2.2. Metodologia de cercetare 98
5.3. Analiza geospaţială a factorilor contributori la inundaţii 100
5.3.1. Factorii hidrologici 101
5.3.1.1. Precipitaţiile atmosferice 101
5.3.1.2. Densitatea drenajului 102
5.3.2. Factori morfometrici 102
5.3.2.1. Elevaţia terenului 102
5.3.2.2. Panta terenului 103

BUPT

5.3.2.3. Distanţa faţă de râuri 104
5.3.3. Permeabilitatea terenului 105
5.3.3.1. Topografia 105
5.3.3.2. Tipurile de sol 106
5.3.4. Utilizarea terenului 106
5.3.4.1. Modul de utilizare a terenului 107
5.3.4.2. Gradul de acoperire a terenului cu vegetaţie 107
5.3.5. Factorii antropici 108
5.3.5.1. Distanţa faţă de drumuri 108
5.4. Ponderarea factorilor relevanţi prin AHP 109
5.5. Estimarea susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb 111
5.6. Analiza impactului potenţial al inundațiilor asupra claselor de utilizare a terenului 112
5.7. Măsuri de management pentru reducerea riscului de inundaţii 113
5.8. Concluzii şi discuţii 114
6. Modelarea spaţială a eroziunii solului prin tehnici GIS, cu aplicaţii pentru îmbunătăţirile funciare. Studiu de caz: bazinul Crişul Alb 117
6.1. Scop şi obiective 117
6.2. Materiale şi metode 118
6.2.1. Materiale şi software-uri utilizate 118
6.2.2. Metodologia de cercetare 119
6.3. Modelarea spaţială şi analiza factorilor contributori la producerea eroziunii în suprafaţă a solului 121
6.3.1. Erozivitatea precipitaţiilor 121
6.3.2. Erodabilitatea solului 123
6.3.3. Topografia terenului 124
6.3.4. Modul de utilizare a terenului 125
6.3.5. Efectul lucrărilor de combatere a eroziunii solului 126
6.4. Estimarea susceptibilităţii la eroziunea în suprafaţă a solului în bazinul Crişul Alb 127
6.5. Evaluarea impactului eroziunii în profil teritorial 129
6.5.1. Analiza impactului la nivel de subbazine componente 129
6.5.2. Analiza impactului asupra claselor de utilizare a terenului 131
6.6. Măsuri de management pentru reducerea efectelor şi combaterea eroziunii solului 132
6.7. Concluzii şi discuţii 134
7. Aplicarea metodelor geospațiale și a modelării hidraulice în studiul bazinelor hidrografice 136
7.1. Scop şi obiective 137
7.2. Materiale şi metode 137
7.2.1. Materiale şi software-uri utilizate 137
7.2.2. Metodologia de cercetare 138
7.3. Etape și metode de modelare hidrologică prin GIS. Studiu de caz: bazinul Cigher 142
7.3.1. Obţinerea informaţiilor topografice din Modelul Digital de Elevaţie 143
7.3.2. Determinarea direcției de curgere a apei 144
7.3.3. Determinarea acumulărilor şi a bazinului hidrografic 146

BUPT

7.4. Etape şi metode de modelare hidraulică pentru analiza curgerii permanente. Studiu de caz: râul Cigher 149
7.4.1. Analiza debitelor şi nivelurilor în zona de studiu 150
7.4.2. Procesarea şi validarea Modelului Digital de Elevaţie 152
7.4.3. Trasarea elementelor geometrice ale sectorului analizat 155
7.4.4. Setarea parametrilor pentru analiza de flux permanent 158
7.4.5. Modelarea hidraulică a segmentului din râul Cigher 159
7.5. Concluzii şi discuţii 171
8. **Concluzii, contribuţii originale şi direcţii de continuare a cercetărilor** 173
8.1. Concluzii generale 173
8.2. Contribuţii originale 180
8.3. Recomandări pentru cercetările viitoare 183
Bibliografie 185

BUPT

Glosar de termeni/Abrevieri

1D, 2D, 3D	Unidimensional, Bidimensional, Tridimensional
ABA	Administraţia Bazinală de Apă
AGNPS	AGricultural Non-Point Source Pollution Model (Modelul de poluare difuză din surse agricole)
AHP	Analytic Hierarchy Process (Procesul Analitic Ierarhic)
ANAR	Administrația Națională „Apele Române”
ANCPI	Agenţia Naţională de Cadastru şi Publicitate Imobiliară
ANIF	Agenţia Naţională de Îmbunătăţiri Funciare
ANN	Artificial Neural Networks (Rețele Neurale Artificiale)
CLC	Corine Land Cover
DEM	Digital Elevation Model (Model Digital de Elevaţie)
DLNN	Deep Learning Neural Network ("Rețea Neuronală de Învățare Profundă)
DSM	Digital Surface Model (Model Digital al Suprafeţei)
EEA	European Environment Agency (Agenţia Europeană de Mediu)
ESA	European Space Agency (Agenția Spațială Europeană)
GIS	Geographic Information Systems (Sisteme Informatice Geografice)
GLOF	Glacial Lake Outburst Floods (nundații provocate de revărsarea unui lac glaciar)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistem Global de Navigație prin Satelit)
GPS	Global Positioning System (Sistem de Poziționare Globală)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistem Global pentru Comunicații Mobile)
IDW	Inverse Distance Weighting (Ponderarea în funcție de distanța inversă)
INHGA	Institutul Naţional de Hidrologie şi Gospodărire a Apelor
LCM	Land Change Modeler
LiDAR	Light Detection and Ranging sau Laser imaging, Detection, and Ranging
LULC	Land Use/Land Cover
MCDA	Multiple-Criteria Decision Analysis (Analiza decizională multicriterială)
MLA	Machine Learning Algorithms (Algoritmi de Învățare Automată)
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation (Ecuaţia universală a eroziunii solului modificată)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Indicele Normalizat de Diferenţiere a Vegetaţiei)
PMRI	Planuri de Management al Riscurilor de Inundații
PNIESC	Planul Național Integrat în domeniul Energiei și Schimbărilor Climatice
RADAR	Radio Detection and Ranging

BUPT

ROMSEM	Romanian Soil Erosion Model (Modelul de Eroziune a Solului din România)
RS	Remote Sensing (Teledetecţie)
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Ecuaţia universală a eroziunii solului revizuită)
ST	Secţiune transversală
SVM	Support Vector Machine (Mașină cu Vectori de Suport)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool (Instrument de Evaluare a Solului și Apei)
TWI	Topographic Wetness Index (Indice care exprimă „umiditatea” peisajului
UAS	Unmanned Aircraft System (Sistem de Aeronave Fără Pilot - descrie ansamblul care include dronele și componentele de control, comunicare și susţinere aferente)
UAT	Unitate Administrativ-Teritorială
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Vehicul aerian fără pilot – dronă)
UE	Uniunea Europeană
USDA	United States Department of Agriculture (Departamentul pentru Agricultură al Statelor Unite)
USLE	Universal Soil Loss Equation (Ecuaţia universală a eroziunii solului)
UTM	Universal Transverse Mercator (sistem de coordonate)
WGS	World Geodetic System (Sistemul Geodezic Mondial)
WO	Weighted Overlay (metoda suprapunerii ponderate a factorilor în mediul GIS)

BUPT

Ghid de termeni

Ghidul de termeni este folosit pentru a oferi claritate și a asigura o înțelegere comună a conceptelor specifice domeniului de studiu. În contextul GIS şi al teledetecţiei, al modelării hidrologice și al modelării hidraulice, terminologia este complexă și tehnică, iar ghidul ajută la eliminarea confuziilor, facilitând comunicarea eficientă între specialiști și utilizatori. De asemenea, ghidul ajută la standardizarea termenilor, astfel încât aceştia să fie interpretați și aplicați corect în diferite proiecte și studii.

Albia minoră a râului se referă la porțiunea de teren situată între malurile unui râu, care este ocupată de apă în mod permanent sau aproape permanent. Aceasta reprezintă canalul natural prin care curge râul în condiții normale, când nu există inundații sau debite excesive.

Albia majoră a râului este partea cea mai largă a văii unui râu, care este acoperită de apă doar în timpul inundațiilor sau debitelor mari, atunci când apele depășesc nivelul obișnuit al albiei minore (albia permanentă). Aceasta include zonele adiacente cursului normal de apă și este caracterizată de o vegetație specifică și de un relief modelat de procesele hidrodinamice asociate inundațiilor.

Altitudinea absolută reprezintă înălțimea unui punct de pe suprafața Pământului față de nivelul mediu al mării, care este considerat ca referință zero. Aceasta indică distanța verticală dintre un punct și nivelul mării, fără a lua în considerare alte repere locale, cum ar fi nivelul solului din jur.

Analytic Hierarchy Process (AHP) este o metodă decizională multicriterială utilizată pentru a structura și rezolva probleme complexe, care implică luarea de decizii bazate pe multiple criterii. AHP, dezvoltat de Thomas L. Saaty în anii 1970, permite utilizatorilor să compare mai multe opțiuni luând în considerare criterii diverse, printr-un proces ierarhic.

Analiza schimbărilor, în mediul GIS se referă la procesul de comparare a datelor geospațiale colectate în momente diferite pentru a identifica și cuantifica modificările care au avut loc într-o anumită zonă geografică. Aceasta poate include schimbări ale utilizării terenului, vegetației, topografiei sau altor caracteristici spațiale și este utilizată în diverse aplicații, cum ar fi monitorizarea mediului, gestionarea resurselor naturale, planificarea urbană sau evaluarea impactului schimbărilor climatice.

Analiza spațială este un proces prin care se examinează relațiile și modelele geografice pe baza datelor spațiale, adică a informațiilor care au o componentă geografică sau poziționlă. Aceasta implică utilizarea instrumentelor și tehnicilor specifice GIS pentru a evalua și interpreta distribuțiile, corelațiile și interacțiunile dintre obiectele sau fenomenele analizate.

Capacitatea de transport a râurilor se referă la cantitatea maximă de sedimente (materiale solide precum nisip, pietriș, nămol) pe care un râu o poate transporta într-un anumit interval de timp. Aceasta este influențată de mai mulți factori, cum ar fi debitul de apă, viteza curgerii, panta albiei, caracteristicile sedimentelor și natura interacțiunii dintre apă și materialele transportate.

Debitul maxim reprezintă volumul maxim de apă care trece printr-o secțiune transversală a unui curs de apă sau a unui sistem hidraulic, într-o unitate de timp.

BUPT

Acesta este exprimat de obicei în metri cubi pe secundă (m^3/s) și este un indicator important în evaluarea capacității unui râu sau a unui canal de a transporta apă, în special în condiții extreme, cum ar fi viiturile sau inundațiile.

Distanța euclidiană, calculată în ArcGIS, se referă la cea mai scurtă distanță între două puncte într-un spațiu bidimensional sau tridimensional, calculată folosind metoda „liniei drepte". Este o măsură geometrică clasică, bazată pe teorema lui Pitagora.

Fenomenele de risc reprezintă evenimente naturale sau antropice (generate de activitățile umane) care au potențialul de a provoca daune semnificative asupra mediului, vieții umane, bunurilor sau infrastructurii. Aceste fenomene variază în intensitate și frecvență.

Eroziunea în suprafață reprezintă procesul prin care stratul superficial al solului este îndepărtat de forțele naturale, cum ar fi apa de ploaie, vântul sau scurgerea de suprafață. Acest tip de eroziune se manifestă pe suprafețe extinse și uniforme, fără a forma canale adânci. În timpul ploilor, apa care nu se infiltrează în sol curge la suprafață și antrenează particulele de sol, reducând astfel fertilitatea terenului și contribuind la degradarea mediului înconjurător.

Erozivitatea precipitațiilor se referă la capacitatea ploilor de a provoca eroziunea solului. Aceasta depinde de intensitatea și durata precipitațiilor, fiind un factor important în evaluarea riscului de pierdere a solului prin scurgere de suprafață. Precipitațiile cu intensitate mare și cantități semnificative de apă au un potențial mai ridicat de a disloca particulele de sol, contribuind la eroziune. Erozivitatea precipitațiilor este un parametru esențial în studiile de protecție a solului și gestionarea sustenabilă a terenurilor.

Hidrografia se referă la descrierea și cartografierea corpurilor de apă (râuri, lacuri). Aceasta include măsurători ale adâncimii, fluxului și formelor de relief subacvatic, fiind esențială pentru managementul resurselor de apă.

Hidrologia studiază ciclul apei în natură și procesele care implică apa în mediul terestru, cum ar fi precipitațiile, infiltrația, scurgerea și evapotranspirația. Analizează distribuția, circulația și proprietățile apei în atmosferă, pe suprafața terestră și în subteran.

Inverse Distance Weighting (IDW) este o metodă de interpolare spațială utilizată în ArcGIS pentru a prezice valori necunoscute pe baza unui set de puncte de date cunoscute. Aceasta presupune că valorile unui punct necunoscut sunt influențate mai mult de punctele cunoscute aflate în proximitatea sa, iar această influență scade pe măsură ce distanța crește.

Inundațiile reprezintă un fenomen natural prin care o suprafață de teren, de obicei uscată, este acoperită temporar de un volum semnificativ de apă. Acestea pot apărea ca urmare a unor ploi abundente, topirii rapide a zăpezii, creșterii nivelului râurilor, valurilor de furtună, avariei barajelor sau altor structuri hidrotehnice.

Modelarea hidrologică este procesul de simulare și reprezentare matematică a ciclului hidrologic și a proceselor legate de mișcarea apei în natură. Aceasta include fenomene precum precipitațiile, scurgerea de suprafață, infiltrarea apei în sol, evapotranspirația și interacțiunile dintre apele subterane și cele de suprafață.

Modelarea hidraulică reprezintă procesul de simulare a mișcării și comportamentului apei într-un sistem, cum ar fi râurile, canalele, rețelele de conducte sau alte structuri hidraulice. Scopul principal al modelării hidraulice este de a înțelege fluxul de apă, nivelul apei și interacțiunea acesteia cu structurile artificiale sau naturale, folosind principii matematice și fizice. Aceasta este esențială pentru evaluarea riscurilor de inundație, proiectarea infrastructurilor hidraulice (poduri,

BUPT

baraje, diguri), precum și pentru gestionarea și distribuția apei în mod eficient și sustenabil.

Modelarea hidrologică reprezintă procesul de simulare a proceselor legate de apa din natură, cum ar fi precipitațiile, scurgerea apei de suprafață, infiltrarea și ciclul apei, utilizând date geospațiale și instrumente GIS. Prin intermediul GIS, sunt colectate și analizate informații despre topografia terenului, rețeaua de râuri, tipurile de sol și climat, pentru a crea modele predictive sau analitice care descriu comportamentul apei într-un anumit peisaj.

Nivelul apei se referă la înălțimea suprafeței apei într-un râu, lac, rezervoar sau alt corp de apă, măsurată față de un reper fix sau față de un anumit punct de referință (cum ar fi nivelul mării).

Panta terenului reprezintă unghiul sau gradul de înclinare a suprafeței terenului față de orizontală. Aceasta indică cât de abrupt sau plat este un teren și este exprimată de obicei în procente (%) sau în grade (°). În general, panta se calculează ca raport între diferența de înălțime (elevație) și distanța orizontală pe care are loc acea diferență.

Probabilitatea de apariție se referă la șansa ca un anumit eveniment hidrologic, cum ar fi o inundație, un anumit debit sau o ploaie extremă, să se producă într-o anumită perioadă de timp. Aceasta este exprimată, de obicei, sub formă de frecvență sau perioadă de revenire. De exemplu, un eveniment cu o probabilitate de apariție de 1% într-un an este denumit un eveniment cu "perioadă de revenire de 100 de ani", ceea ce înseamnă că, în medie, un astfel de eveniment se poate produce o dată la 100 de ani.

Perioada de revenire (intervalul de recurgență) a unor evenimente hidrologice se referă la intervalul de timp statistic în care un anumit eveniment hidrologic, cum ar fi o inundație, o secetă sau o ploaie extremă, este așteptat să se repete. Aceasta este exprimată de obicei în ani și reprezintă probabilitatea ca evenimentul să se producă într-un anumit an.

Profilul longitudinal al râului reprezintă o secțiune verticală care ilustrează variația altitudinii albiei unui râu de la izvor până la vărsare. Acest profil arată modul în care panta râului se schimbă pe parcursul său și este esențial pentru înțelegerea dinamicii apei, a vitezei de curgere și a proceselor de eroziune și depunere a sedimentelor. De obicei, profilul este mai abrupt în zonele montane și devine mai lin pe măsură ce râul ajunge în zone de câmpie.

Profilul transversal al râului reprezintă o secțiune transversală a albiei râului, măsurată perpendicular pe direcția curgerii apei. Această secțiune ilustrează forma și dimensiunile albiei, incluzând lățimea, adâncimea și eventualele variații de nivel ale malurilor și albiei.

Rezoluția spațială definește cel mai mic detaliu care poate fi distins într-o imagine. Rezoluția spațială este exprimată în metri (de exemplu, 10 m, 30 m), iar o rezoluție mai mică indică un nivel mai mare de detaliu (adică o capacitate de a distinge obiecte mai mici). De exemplu, o imagine cu rezoluție spațială de 10 metri înseamnă că fiecare pixel reprezintă un pătrat cu latura de 10 metri pe teren.

Rezoluția temporală a imaginilor de teledetecție se referă la frecvența cu care un satelit sau un senzor captează imagini ale aceleiași zone de pe suprafața Pământului. Aceasta indică intervalul de timp dintre două achiziții succesive ale imaginii aceleași regiuni.

Risc hidrogeomorfologic se referă la probabilitatea ca procesele naturale legate de apă (hidrologice) și teren (geomorfologice) să producă efecte negative asupra mediului sau activităților umane. Aceste procese pot include inundațiile, eroziunea, alunecările de teren sau altele similare, care sunt influențate de

BUPT

interacțiunea dintre apa care circulă pe suprafața terestră și structura sau compoziția terenului.

Susceptibilitatea teritoriului la inundații sau eroziune se referă la vulnerabilitatea unei zone de a fi af ectată de inundații/eroziune, în funcție de o serie de factori naturali și antropici.

Talvegul este linia imaginară care unește cele mai joase puncte de-a lungul albiei unui curs de apă, reprezentând traseul pe care apa curge în mod natural pe fundul văii. Acesta marchează direcția principală a scurgerii apei și indică, de obicei, locul cu cea mai mare adâncime în secțiunile transversale ale râului sau pârâului.

Weighted Overlay (WO) este o metodă utilizată în analiza spațială pentru a combina diferite seturi de date raster, fiecare având o pondere sau o influență specifică în cadrul unei analize multicriteriale.

BUPT

Lista figurilor

Figura 2.1. Inundaţii devastatoare din ultimii 100 ani, din Europa
Figura 2.2. Bazine hidrografice pe teritoriul României
Figura 2.3. Barajul Vidraru şi Barajul Bicaz

Figura 3.1. Indicele de susceptibilitate a terenurilor la eroziunea eoliană (ILSWE) prezis pentru terenurile agricole din 36 de țări europene
Figura 3.2. Harta eroziunii solului din România

Figura 4.1. Metodologia de cercetare
Figura 4.2. Localizarea şi DEM-ul bazinului Crişul Alb
Figura 4.3. Unităţi de relief din bazinul Crişul Alb
Figura 4.4. Distribuția precipitațiilor medii multianuale (2013 – 2022) în bazinul Crișul Alb
Figura 4.5. Distribuția precipitațiilor medii multianuale în funcție de altitudine în bazinul Crișul Alb
Figura 4.6. Distribuţia tipurilor de sol în bazinul Crişul Alb
Figura 4.7. Reţeaua hidrografică – bazinul Crişul Alb
Figura 4.8. Sector de râu cu meandre (foto din dronă)
Figura 4.9. Diviziuni hidrografice (subbazine) ale bazinului Crişul Alb
Figura 4.10. Sectoare cu risc de inundaţii (foto original)
Figura 4.11. Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb
Figura 4.12. Dinamica suprafeţelor claselor de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb, în perioada 1990 - 2018
Figura 4.13. Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb (foto dronă)
Figura 4.14. Schimbări produse în albia minoră (1990 – 2018) pe un sector al râului Cigher
Figura 4.15. Harta celor mai semnificative tranziţii în modul de utilizare a terenului
Figura 4.16. Schimbări în modul de utilizare a terenului prognozate pentru anul 2035

Figura 5.1. Metodologia de cercetare
Figura 5.2. Matricea AHP
Figura 5.3. Distribuţia factorului Precipitaţii în bazinul Crişul Alb
Figura 5.4. Distribuţia factorului Densitatea drenajului în bazinul Crişul Alb
Figura 5.5. Distribuţia factorului Elevaţie în bazinul Crişul Alb
Figura 5.6. Distribuția factorului Pantă în bazinul Crișul Alb
Figura 5.7. Distribuția factorului Distanța față de râuri în bazinul Crișul Alb
Figura 5.8. Distribuția factorului TWI în bazinul Crișul Alb
Figura 5.9. Distribuția factorului Tip de sol în bazinul Crișul Alb
Figura 5.10. Distribuţia factorului Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb
Figura 5.11. Distribuţia factorului NDVI în bazinul Crişul Alb
Figura 5.12. Distribuţia factorului Distanţa faţă de drumuri în bazinul Crişul Alb
Figura 5.13. Harta susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb

Figura 6.1. Metodologia de cercetare
Figura 6.2. Harta distribuţiei Factorului R (MJ mm ha−1h−1an−1) în zona de studiu

BUPT

Figura 6.3 Harta distribuţiei Factorului K (t ha−1MJ−1mm−1) în zona de studiu
Figura 6.4 Harta distribuţiei Factorului LS în zona de studiu
Figura 6.5 Harta distribuţiei Factorului C în zona de studiu
Figura 6.6 Harta distribuţiei Factorului P în zona de studiu
Figura 6.7 Harta eroziunii solului (t ha-1an-1), în bazinul Crişul Alb

Figura 7.1. Metodologia de cercetare
Figura 7.2. Selectarea zonei de studiu şi DEM-ul bazinului Cigher
Figura 7.3. Modelul Digital de Elevaţie al bazinului Cigher: iniţial şi corectat
Figura 7.4. Algoritmul D8 în stabilirea direcţiei de curgere
Figura 7.5. Modelarea direcţiei de scurgere în bazinul Cigher
Figura 7.6. Algoritmul D8 în stabilirea acumulării scurgerii
Figura 7.7. Modelarea acumulării scurgerii în bazinul Cigher
Figura 7.8. Modelarea reţelei hidrografice în bazinul Cigher
Figura 7.9. Fixarea punctelor de acumulare maximă pentru delimitarea subbazinelor
Figura 7.10. Debite medii lunare la staţia hidrometrică Chier
Figura 7.11. Niveluri medii lunare la staţia hidrometrică Chier
Figura 7.12. Colectarea punctelor din teren - râului Cigher
Figura 7.13. Secţiuni transversale prin puncte GPS în teren
Figura 7.14. Modelul Digital de Elevaţie al sectorului râului Cigher
Figura 7.15. Zona inundabilă (porţiunea dintre cele două diguri) pe râul Cigher (imagine din dronă)
Figura 7.16. Elementele geometrice ale sectorului selectat
Figura 7.17. Profil longitudinal pe sectorul râului Cigher
Figura 7.18. Exemple de secţiuni transversale în diferite scenarii
Figura 7.19. Reprezentarea vitezei apei în funcţie de distanţă şi scenariu
Figura 7.20. Analiza 3D a profilului hidraulic în funcţie de debit
Figura 7.21. Comportamentul hidraulic al râului Cigher: o comparaţie a extinderii inundaţiilor în diferite scenarii
Figura 7.22. Sector pe râul Cigher (imagine din dronă)
Figura 7.23. Pod afectat de viitură pe râul Cigher (imagine din dronă)

BUPT

Lista tabelelor

Tabelul 4.1. Matricea tranziţiilor în modul de utilizare a terenului, în perioada 1990 – 2018
Tabelul 4.2. Evaluarea cantitativă prognozată pentru modul de utilizare a terenului până în anul 2035
Tabelul 5.1. Ponderea factorilor pentru estimarea susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb
Tabelul 5.2. Analiza impactului potenţial al inundaţiilor asupra claselor de utilizare a terenului
Tabelul 6.1. Modelarea eroziunii pe clase de severitate (rate de eroziune), la nivel de subbazin
Tabelul 6.2. Modelarea claselor de utilizare a terenului în funcţie de severitatea eroziunii (rate de eroziune)
Tabelul 7.1. Debite şi niveluri prognozate
Tabelul 7.2. Caracteristici ale secţiunilor transversale
Tabelul 7.3. Rezultate ale analizei scurgerilor, pentru diferite scenarii

BUPT

Scurt istoric al progresului științific

1. Istoria și evoluția GIS: de la apariție la perspective viitoare

Sistemele Informatice Geografice (Geographic Information Systems - GIS) reprezintă o tehnologie multidisciplinară care combină geografia, analiza statistică și tehnologia informației pentru a organiza și gestiona date spațiale. De-a lungul decadelor, GIS a evoluat semnificativ, devenind un instrument indispensabil în diverse domenii, de la planificarea urbană și managementul resurselor naturale, la transporturi și analiză de mediu [140].

1.1. Istoria GIS: de la începuturi la dezvoltarea modernă

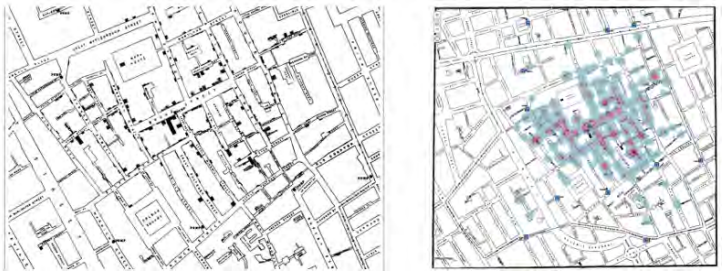
GIS-ul a cunoscut o evoluție complexă, modelată de avansurile tehnologice și necesitățile societății. Primele concepte legate de gestionarea și analizarea datelor spațiale pot fi urmărite încă din secolul al XIX-lea, când cercetătorii au început să îmbine hărți și date statistice pentru a identifica modele spațiale [111; 250].



Etape în dezvoltarea GIS [323]

1.1.1. Primii pași (secolul XIX – 1960)

Primul precursor al GIS modern poate fi găsit în lucrările cartografului britanic John Snow, care în 1854 a folosit o hartă pentru a analiza un focar de holeră în Londra, identificând corelația dintre localizarea surselor de apă și răspândirea bolii. Această abordare de integrare a datelor geografice și statistice a pregătit terenul pentru dezvoltarea ulterioară a GIS.



Harta originală a doctorului Jon Snow care arată focarul de holeră față de locația pompelor de apă (stânga) şi Harta originală a doctorului Jon Snow cu analiza hărții termice care arată focarul de holeră față de locația pompelor de apă (dreapta) [35]

BUPT

În anii 1950 și 1960, utilizarea hărților manuale și metodele statistice s-au dovedit insuficiente pentru analiza complexă a datelor geografice. În această perioadă, creșterea capacității de procesare a computerelor a permis dezvoltarea sistemelor computerizate care puteau gestiona date spațiale. În această etapă, primele aplicații de GIS au fost limitate la guverne și instituții academice [111].

1.1.2. GIS modern: CGIS și primele sisteme comerciale (1960-1980)

Un moment decisiv în evoluția GIS a fost în 1962, când guvernul canadian, sub conducerea lui Roger Tomlinson, a dezvoltat Canadian Geographic Information System (CGIS), considerat primul sistem GIS adevărat. CGIS a fost creat pentru a gestiona resursele naturale ale Canadei și a devenit un model pentru viitoarele sisteme GIS [250].

În anii 1970, au apărut și primele companii comerciale specializate în GIS, precum Environmental Systems Research Institute (ESRI), fondată de Jack și Laura Dangermond în 1969. La sfârșitul anilor 1970 și începutul anilor 1980, GIS a început să fie utilizat în mod semnificativ pentru planificare urbană, transporturi și analiză de mediu.

1.1.3. Era digitală: răspândirea GIS (1980-2000)

Anii 1980 și 1990 au fost caracterizați de o răspândire rapidă a tehnologiei GIS. Progresele în hardware-ul de calcul și software-ul GIS au permis adoptarea acestei tehnologii într-o gamă largă de domenii. În această perioadă, hărțile digitale au devenit un element central al GIS, iar sistemele au fost integrate cu baze de date relaționale [140; 205].

ESRI a lansat în 1982 ArcInfo, unul dintre primele sisteme GIS comerciale, care a devenit un standard în industrie. De asemenea, interfețele grafice de utilizator (GUI) și creșterea accesului la datele geospațiale au transformat GIS într-o tehnologie mult mai accesibilă și mai ușor de utilizat.

1.1.4. GIS pe Internet și integrarea cu alte tehnologii (2000-prezent)

Odată cu explozia internetului și dezvoltarea tehnologiilor de cartografiere online, GIS a devenit mult mai accesibil publicului larg. Începând cu anii 2000, servicii precum Google Maps și OpenStreetMap au adus GIS la îndemâna utilizatorilor obișnuiți, facilitând astfel democratizarea accesului la date spațiale [205].

Mai recent, GIS a început să fie integrat cu alte tehnologii emergente, precum inteligența artificială (AI), învățarea automată și analiza big data. Aceste tehnologii permit o analiză mai profundă și mai rapidă a datelor spațiale, transformând GIS într-un instrument puternic pentru cercetarea științifică și luarea deciziilor în timp real.

1.2. Perspective viitoare și tehnologii emergente în GIS

GIS continuă să evolueze într-un ritm rapid, fiind influențat de progresul tehnologic și de cerințele tot mai mari ale societății moderne. În următorii ani, se anticipează că GIS va beneficia de inovații în domenii precum automatizarea, colectarea datelor în timp real și analiza predictivă [205].

1.2.1. Tehnologiile Cloud și GIS

Una dintre cele mai mari schimbări viitoare în GIS este tranziția către tehnologii de tip cloud. Platformele cloud permit stocarea și prelucrarea unor cantități mari de date spațiale fără a fi necesare investiții semnificative în infrastructura locală. De exemplu, serviciile oferite de ESRI prin platforma ArcGIS Online facilitează partajarea și colaborarea pe datele GIS la scară globală, în timp real [111].

BUPT

1.2.2. Integrarea cu Inteligența Artificială și Machine Learning

Integrarea inteligenței artificiale și a învățării automate în GIS deschide noi oportunități pentru analiza avansată a datelor spațiale. Prin utilizarea acestor tehnologii, modelele predictive și analiza spațială pot fi automatizate și optimizate pentru a răspunde unor probleme complexe precum schimbările climatice, gestionarea resurselor sau urbanizarea rapidă.

Machine learning-ul poate fi folosit pentru a detecta tipare complexe în datele geospațiale care nu ar fi evidente prin analiza tradițională. De exemplu, algoritmi de machine learning sunt deja utilizați pentru a monitoriza defrișările sau pentru a prezice impactul inundațiilor în diferite regiuni geografice [250].



Tehnologiile GIS moderne (imagine creată pe baza datelor din literatura de specialitate [250])

Imaginea ilustrează tehnologiile GIS moderne, incluzând elemente precum cloud computing, AI, drone pentru capturarea datelor geografice și senzori IoT pentru monitorizarea în timp real. Imaginea surprinde complexitatea și integrarea acestor tehnologii într-o interfață digitală care facilitează analiza geospațială.

1.2.3. Realitatea augmentată (AR) și realitatea virtuală (VR) în GIS

În viitorul apropiat, GIS va fi din ce în ce mai mult combinat cu tehnologii de realitate augmentată (AR) și realitate virtuală (VR). Aceste tehnologii permit vizualizarea datelor spațiale într-un mod imersiv, oferind noi modalități de interacțiune cu hărțile și datele geospațiale [367].

Un exemplu de aplicație a acestei combinații este în urbanism, unde AR și VR pot ajuta planificatorii urbani să vizualizeze modele 3D ale orașelor viitoare sau să evalueze impactul vizual al noilor construcții în peisajul urban [111].

1.2.4. GIS și Internet of Things (IoT)

Integrarea GIS cu Internet of Things (IoT) reprezintă o altă direcție viitoare semnificativă. Dispozitivele IoT sunt capabile să colecteze date în timp real, iar GIS poate oferi contextul spațial necesar pentru a analiza și vizualiza aceste date. De exemplu, senzori IoT pot fi utilizați pentru a monitoriza poluarea aerului sau traficul

BUPT

în timp real, iar GIS poate ajuta la analiza și vizualizarea acestor date pentru a sprijini deciziile administrative [367].

GIS a evoluat dintr-o tehnologie destinată inițial utilizatorilor guvernamentali și cercetătorilor într-un instrument esențial utilizat pe scară largă în multe domenii. Odată cu noile tehnologii emergente, cum ar fi inteligența artificială, realitatea augmentată și Internet of Things, GIS își extinde capacitățile și aplicabilitatea. Perspectivele viitoare ale GIS sunt promițătoare, deschizând noi oportunități pentru analiză și luarea deciziilor în contexte din ce în ce mai complexe.

2. Istoria teledetecției: de la apariție la perspectivele viitoare

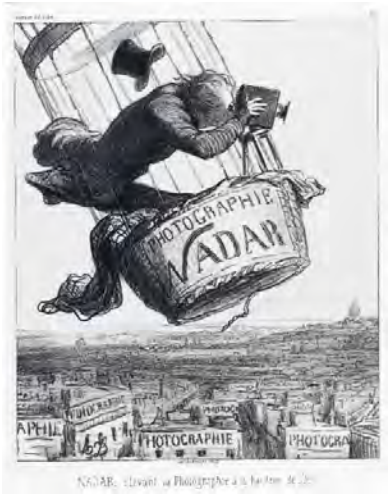
Teledetecția reprezintă procesul de obținere a informațiilor despre un obiect sau fenomen fără a avea un contact fizic direct, utilizând în schimb detectoare de radiații electromagnetice. Aceasta este esențială în numeroase domenii, de la meteorologie la gestionarea resurselor naturale și monitorizarea mediului.

Tehnologia a evoluat considerabil de la primele utilizări până la metodele complexe și sofisticate din prezent.

2.1. Istoria teledetecției: evoluția tehnologică

2.1.1. Primii pași (secolul XIX – 1960)

Originea teledetecției poate fi trasată până la primele fotografii aeriene realizate în secolul al XIX-lea. În 1858, Gaspard-Félix Tournachon, cunoscut sub numele de Nadar, a realizat primele imagini aeriene dintr-un balon cu aer cald. Această metodă rudimentară a marcat începutul utilizării tehnicilor de observare la distanță pentru cartografiere și studierea peisajului [59; 349].



Începuturile teledetecţiei – Nadar [319]

Primul salt tehnologic major a avut loc în timpul Primului și celui de-al Doilea Război Mondial, când fotografiile aeriene au fost utilizate intens pentru recunoașterea militară. Utilizarea filmelor în infraroșu și a altor tipuri de pelicule sensibile la diferite lungimi de undă au permis o mai bună observare a terenului și a forțelor inamice. Aceasta a fost prima utilizare a teledetecției multispectrale, care înregistrează şi

BUPT

analizează informațiile capturate pe mai multe lungimi de undă ale spectrului electromagnetic.

2.1.2. Era sateliților și lansarea Landsat (1960-1980)

Perioada postbelică a adus cu ea dezvoltarea accelerată a tehnologiilor spațiale și a sateliților, care au revoluționat domeniul teledetecției. În 1960, lansarea primului satelit meteorologic TIROS-1 a marcat începutul unei noi ere, în care observațiile de la mare altitudine au început să fie realizate pe scară largă. TIROS-1 a furnizat primele imagini ale Pământului văzute din spațiu, inițiind era modernă a teledetecției prin satelit [308; 273].

Cel mai important eveniment al acestei perioade a fost însă lansarea, în 1972, a primului satelit din programul Landsat. Programul Landsat, gestionat de NASA, a reprezentat un moment revoluționar în teledetecție, oferind imagini multispectrale ale suprafeței terestre. Aceste imagini au permis o analiză detaliată a ecosistemelor, resurselor naturale și a schimbărilor climatice. Landsat-1 a fost echipat cu senzorul MSS (Multispectral Scanner), care a colectat date în patru benzi spectrale și a devenit instrumentul principal pentru cercetări de mediu [238].



TIROS 1 (Television and Infrared Observation Satellite), primul satelit meteorologic [238]

În această perioadă, s-au făcut pași importanți și în utilizarea radarelor și a altor sisteme active de teledetecție. Radarul cu apertură sintetică (SAR) a început să fie utilizat pentru observarea suprafeței terestre și a dinamicii ghețarilor și oceanelor.



Synthetic Aperture Radar" (SAR) [94]

BUPT

2.1.3. Dezvoltarea accelerată a teledetecției digitale (1980-2000)

Începând cu anii 1980, teledetecția a cunoscut un salt major datorită dezvoltării senzorilor digitali și a procesării computerizate a imaginilor. Imaginile satelitare au început să fie stocate și prelucrate digital, facilitând o analiză mai detaliată și mai rapidă a datelor. Introducerea algoritmilor de clasificare a imaginilor a permis identificarea diferitelor tipuri de acoperire a terenului și a caracteristicilor fizice cu un grad ridicat de precizie [59; 349].

În anii 1990, senzorii satelitari au devenit din ce în ce mai sofisticați, cu lansarea sateliților Landsat 7 (1999) și a altor platforme satelitare cum ar fi SPOT, ERS, Radarsat, și Terra. În această perioadă, au apărut și noi tehnologii de senzori hiperspectrali, capabili să capteze date în sute de benzi spectrale, permițând astfel identificarea precisă a compoziției chimice a obiectelor de pe suprafața terestră.



Sateliţii Landsat 7 (stânga, sus [239]), Spot (dreapta, sus [36]), Radarsat (stânga, jos [103]) și Terra (dreapta, jos [107])

2.1.4. Teledetecția în era Big Data și a IoT (2000-prezent)

Începând cu anii 2000, teledetecția a fost profund influențată de evoluția rapidă a tehnologiilor informaționale și de creșterea accesului la cantități masive de date spațiale. Platformele de stocare și procesare a datelor în cloud, cum ar fi Google Earth Engine, au permis analiza unor volume uriașe de imagini satelitare într-un mod accesibil și eficient. Aceasta a deschis noi oportunități în monitorizarea schimbărilor climatice și a mediului, precum și în gestionarea resurselor [308].

Teledetecția a început să fie integrată cu rețelele Internet of Things (IoT), permițând colectarea și analizarea datelor în timp real. De exemplu, senzorii IoT montați pe drone sau dispozitive de la sol pot transmite date despre temperatură, umiditate și alte caracteristici de mediu, care sunt ulterior integrate cu imagini satelitare pentru o analiză mai cuprinzătoare [250].

2.2. Perspective viitoare și tehnologii implicate

2.2.1. Inteligența Artificială și Machine Learning în teledetecție

Unul dintre cele mai promițătoare domenii în dezvoltarea teledetecției este integrarea Inteligenței Artificiale (AI) și a învățării automate (Machine Learning).

BUPT

Algoritmii AI pot fi utilizați pentru a analiza rapid cantități mari de date spațiale și pentru a identifica tipare complexe care nu ar fi detectabile prin metode tradiționale. De exemplu, AI poate fi folosită pentru a monitoriza schimbările în acoperirea terenului, precum defrișările, sau pentru a prezice impactul dezastrelor naturale.

Senzorii hiperspectrali, în combinație cu tehnologiile AI, pot analiza compoziția chimică a solului sau a atmosferei, contribuind la monitorizarea poluării și la gestionarea resurselor agricole [197].

2.2.2. Senzori de înaltă rezoluție și imagini 3D

O altă direcție de dezvoltare este utilizarea senzorilor de înaltă rezoluție și a tehnologiilor de imagistică 3D. Aceste tehnologii permit o vizualizare mult mai detaliată a suprafeței terestre și a structurii obiectelor. Sateliții echipați cu senzori LiDAR (Light Detection and Ranging) sunt capabili să creeze modele 3D precise ale terenului și să pătrundă prin stratul de vegetație pentru a analiza suprafața solului.

Aceasta este deosebit de utilă în domenii precum arheologia, unde LIDAR poate detecta structuri ascunse sub vegetație, sau în gestionarea pădurilor, unde poate evalua densitatea și înălțimea copacilor [250].



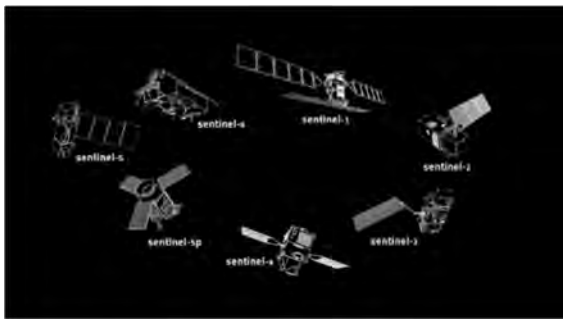
Evoluția în timp a tehnologiilor de teledetecție (imagine creată pe baza datelor din literatura de specialitate [250])

Imaginea ilustrează tehnologiile moderne de teledetecție, incluzând sateliți, drone echipate cu LiDAR și senzori IoT care colectează date în timp real. Această reprezentare vizualizează procesele de monitorizare globală pentru dezastre naturale și schimbări climatice, integrând și analiza datelor în timp real.

2.2.3. Teledetecția în contextele schimbărilor climatice

Teledetecția va continua să joace un rol crucial în monitorizarea schimbărilor climatice și în gestionarea resurselor naturale. Platformele de observare a Pământului, cum ar fi Sentinel din cadrul programului Copernicus, permit monitorizarea continuă a schimbărilor climatice, a topirii ghețarilor, a modificării nivelului mărilor și a altor fenomene asociate cu încălzirea globală.

BUPT



Sateliţii Sentinel 1 – 6 [136]

Tehnologiile de teledetecţie sunt esenţiale în gestionarea resurselor de apă, agricultură și energie, oferind guvernelor și organizaţiilor internaţionale instrumentele necesare pentru a lua decizii bazate pe date solide și precise.

Teledetecţia a evoluat de la metode simple de observare aeriană la tehnologii avansate de satelit, care permit analiza complexă și în timp real a datelor spaţiale. Integrarea cu noile tehnologii, cum ar fi AI, IoT și senzorii de înaltă rezoluţie, face ca viitorul teledetecţiei să fie unul promiţător, oferind soluţii inovatoare pentru problemele globale, inclusiv schimbările climatice și gestionarea resurselor naturale. Este evident că teledetecţia va continua să fie un instrument crucial pentru cercetare și luarea deciziilor în viitor.

3. Istoria cercetărilor privind inundaţiile: metode de analiză din trecut și prezent

Inundaţiile reprezintă unul dintre cele mai frecvente și devastatoare dezastre naturale, afectând milioane de oameni și cauzând daune economice și de mediu semnificative. Studiul inundaţiilor a evoluat de-a lungul secolelor, de la observaţii empirice bazate pe experienţe locale, până la utilizarea tehnologiilor moderne precum teledetecţia, modelele hidrologice computerizate și analiza datelor în timp real.

3.1. Istoria studiului inundaţiilor

3.1.1. Metode tradiţionale de observaţie, de analiz și de înregistrare a inundaţiilor

Studiul inundaţiilor are o istorie îndelungată, iar primele metode de analiză au fost bazate pe observaţiile directe ale fenomenelor naturale și pe experienţele locale ale comunităţilor afectate. În Egiptul antic, inundaţiile anuale ale Nilului erau monitorizate atent, fiind esenţiale pentru agricultură. Nilometrul, un instrument utilizat pentru măsurarea nivelului apei, reprezintă unul dintre cele mai vechi exemple de monitorizare a inundaţiilor. Datele colectate de-a lungul anilor erau utilizate pentru a anticipa intensitatea inundaţiilor viitoare și pentru a planifica lucrările agricole [250].

În Evul Mediu și Renaștere, în Europa, comunităţile afectate de inundaţii au început să dezvolte hărţi rudimentare ale regiunilor inundabile, bazându-se pe observaţiile empirice și pe memorarea evenimentelor anterioare. Aceste hărţi reflectau zonele cele mai vulnerabile și erau utilizate în planificarea aşezărilor și a sistemelor de apărare, cum ar fi digurile și barajele.

3.1.2. Primele studii ştiinţifice (secolul XIX - mijlocul secolului XX)

Studiul sistematic al inundaţiilor a început să ia o formă ştiinţifică abia în secolul al XIX-lea, odată cu dezvoltarea hidrologiei ca disciplină ştiinţifică. În această

BUPT

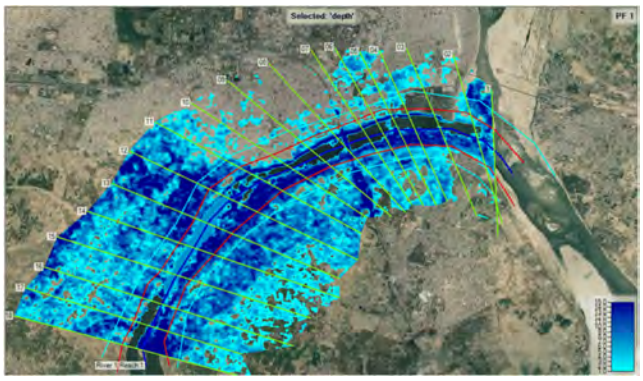
perioadă, au fost dezvoltate metode empirice de măsurare a debitului râurilor și a nivelului apei în timpul inundațiilor. Utilizarea barajelor și canalelor pentru controlul inundațiilor a devenit mai comună, iar tehnologiile precum pluviometrul și stațiile de măsurare a apei au permis colectarea de date mai precise [250].

În Statele Unite, în urma inundațiilor devastatoare de pe râul Mississippi din 1927, autoritățile au început să dezvolte programe complexe de gestionare a inundațiilor, care includeau construirea de diguri și baraje. Datele hidrologice colectate au fost utilizate pentru a dezvolta modele statistice care să permită predicția evenimentelor extreme. În aceeași perioadă, în Europa, inundațiile din Olanda și Germania au stimulat eforturi similare de gestionare a riscurilor asociate.

3.1.3. Utilizarea tehnologiilor moderne (sfârșit de secol XX - prezent)

Cu avansurile tehnologice din a doua jumătate a secolului XX, metodele de studiu și predicție a inundațiilor s-au îmbunătățit semnificativ. Lansarea primilor sateliți de observare a Pământului în anii 1960 și 1970 a marcat o schimbare majoră în modul în care se monitorizau inundațiile. Teledetecția a permis colectarea de imagini din satelit care să ofere o imagine de ansamblu asupra inundațiilor în timp real, oferind informații prețioase pentru gestionarea dezastrelor [309].

În această perioadă au fost dezvoltate și modelele hidrologice computerizate, cum ar fi modelul HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), care a devenit un standard pentru simularea și analizarea inundațiilor. Aceste modele au permis simularea comportamentului râurilor și a fluxului de apă pe baza unor variabile precum precipitațiile, topografia și debitul râului. Modelele hidrologice au devenit esențiale pentru predicția și gestionarea inundațiilor [153].



Simularea inundaţiilor în HEC-RAS [181]

3.2. Metode moderne de analiză a inundațiilor

3.2.1. Teledetecția și imaginile satelitare

Teledetecția joacă un rol semnificativ în analiza inundațiilor, oferind date spațiale esențiale pentru monitorizarea extinderii și impactului acestora. Senzorii multispectrali și radarele cu apertură sintetică (SAR) sunt capabili să capteze imagini în timpul inundațiilor, chiar și în condiții de acoperire norosă sau pe timp de noapte, datorită capacității lor de a penetra prin nori și a oferi imagini în toate condițiile de iluminare. Aceste tehnologii au fost utilizate cu succes în numeroase dezastre majore din ultimele decenii [49].

De exemplu, satelitul Sentinel-1, parte a programului Copernicus, oferă imagini radar de înaltă rezoluție utilizate pentru monitorizarea inundațiilor la scară

BUPT

globală. Aceste date sunt folosite pentru a crea hărți detaliate ale zonelor inundate și pentru a evalua impactul asupra infrastructurii și mediului.

3.2.2. Modele hidrologice și hidraulice

Modelele hidrologice și hidraulice sunt esențiale pentru predicția și gestionarea inundațiilor. Modelele hidrologice, cum ar fi SWAT (Soil and Water Assessment Tool), sunt utilizate pentru a evalua impactul precipitațiilor asupra fluxului de apă în bazinele hidrografice, în timp ce modelele hidraulice, cum ar fi HEC-RAS, simulează mișcarea apei în râuri și canale.

Aceste modele sunt utilizate pentru a simula diferite scenarii de inundație, cum ar fi inundațiile provocate de precipitații extreme sau ruperea barajelor. De asemenea, modelele hidraulice sunt integrate cu datele topografice pentru a crea hărți de risc care indică zonele cele mai vulnerabile la inundații [175].

3.2.3. Integrarea tehnologiilor IoT și a analizei Big Data

În ultimele decenii, Internet of Things (IoT) și analiza big data au început să fie integrate în studiul inundațiilor, oferind noi oportunități pentru monitorizarea și gestionarea acestora în timp real. Senzorii IoT montați în bazinele hidrografice sau pe infrastructuri critice, cum ar fi poduri și baraje, pot transmite date despre nivelul apei, debit și alte variabile relevante către centrele de control [250].

Aceste date sunt apoi analizate în timp real cu ajutorul tehnologiilor big data, care pot identifica tipare și tendințe pe baza unor volume mari de date istorice și actuale. Aceste metode permit o reacție rapidă în cazul inundațiilor, contribuind la reducerea riscurilor și la protejarea vieților și a proprietăților [65].

3.3. Perspective viitoare în studiul inundațiilor

3.3.1 Inteligența Artificială și Machine Learning

Unul dintre cele mai promițătoare domenii pentru viitorul studiului inundațiilor este integrarea inteligenței artificiale (AI) și a algoritmilor de învățare automată (machine learning). Aceste tehnologii permit analiza rapidă și eficientă a datelor din diverse surse, cum ar fi datele satelitare, senzorii IoT și modelele hidrologice.

Algoritmii AI pot identifica tipare complexe în datele hidrologice și pot prezice inundațiile pe baza unor factori variabili. De exemplu, algoritmii de învățare automată pot fi utilizați pentru a analiza datele privind precipitațiile și nivelul apei și pentru a prezice riscul de inundații cu o precizie mai mare decât metodele tradiționale [236].

3.3.2. Tehnologiile de realitate virtuală și realitate augmentată

Realitatea virtuală (VR) și realitatea augmentată (AR) oferă noi modalități de vizualizare și analiză a datelor legate de inundații. Aceste tehnologii pot fi utilizate pentru a crea simulări imersive ale evenimentelor de inundație, permițând cercetătorilor și autorităților să vizualizeze impactul diferitelor scenarii în mod realist.

De asemenea, AR poate fi folosită în teren, oferind lucrătorilor din domeniul intervențiilor în caz de inundații informații în timp real despre nivelul apei și riscurile asociate. Aceasta îmbunătățește capacitatea de răspuns în situații de urgență și permite o gestionare mai eficientă a resurselor [170].

Imaginea de mai jos ilustrează evoluția metodelor de cercetare a inundațiilor de la metodele tradiționale la tehnologiile moderne. Se prezintă tranziția de la măsurători și hărți rudimentare la utilizarea imaginilor satelitare de înaltă rezoluție, dronelor și senzorilor IoT.

BUPT



Istoria cercetărilor în domeniul inundațiilor (imagine creată pe baza datelor din literatura de specialitate [250])

Studiul inundațiilor a evoluat semnificativ de la metodele empirice bazate pe observații directe până la utilizarea tehnologiilor avansate, cum ar fi teledetecția, modelele hidrologice computerizate și senzorii IoT. În prezent, metodele moderne permit monitorizarea și predicția inundațiilor cu o precizie și eficiență mult mai mare decât în trecut, contribuind la reducerea riscurilor și la protejarea comunităților vulnerabile. Viitorul studiului inundațiilor pare promițător, cu integrarea inteligenței artificiale și a realității virtuale, care vor deschide noi orizonturi în monitorizarea și gestionarea acestor dezastre naturale [250].

4. Istoria cercetărilor privind eroziunea solului: metode de analiză din trecut și prezent

Eroziunea solului este un proces natural prin care solul este îndepărtat de către apă, vânt, gheață sau activitățile umane. De-a lungul timpului, studiul eroziunii solului a avut o importanță semnificativă în gestionarea terenurilor agricole, protejarea ecosistemelor și prevenirea degradării solului.

4.1. Istoria cercetărilor eroziunii solului

4.1.1. Metode tradiționale de studiu (secolul XIX – mijlocul secolului XX)

Studiul eroziunii solului a început în mod empiric, încă din Antichitate, atunci când comunitățile umane au observat efectele dăunătoare ale eroziunii asupra terenurilor agricole. Civilizațiile antice, precum cea egipteană și mesopotamiană, au implementat practici de gestionare a apei și a terenurilor pentru a combate pierderile de sol și pentru a preveni inundațiile [234]. Totuși, la acea vreme, metodele de analiză erau bazate în mare parte pe observarea directă și intervenția practică, fără o înțelegere științifică profundă.

Începând cu secolul al XIX-lea, odată cu dezvoltarea științei moderne, eroziunea solului a devenit un subiect de studiu pentru cercetătorii în domeniul geologiei și agriculturii. În Statele Unite și Europa, eroziunea solului a fost recunoscută ca o problemă semnificativă odată cu creșterea agriculturii intensive. Primele studii

BUPT

științifice au început să se concentreze pe identificarea principalelor cauze ale eroziunii, inclusiv defrișările și practicile agricole nesustenabile.

Una dintre primele contribuții semnificative la studiul eroziunii solului a fost făcută de Hugh Hammond Bennett, cunoscut ca „părintele conservării solului" în Statele Unite. Bennett a demonstrat impactul devastator al eroziunii asupra agriculturii și a condus eforturile pentru crearea Serviciului de Conservare a Solului în 1935. Această instituție a dezvoltat metode de combatere a eroziunii, inclusiv terasarea terenurilor și rotația culturilor.

4.1.2. Dezvoltarea metodelor cantitative (mijlocul secolului XX)

În perioada postbelică, studiul eroziunii solului a intrat într-o nouă eră odată cu dezvoltarea metodelor cantitative de analiză. Una dintre cele mai importante realizări în acest domeniu a fost formularea Ecuației Universale a Pierderii de Sol (Universal Soil Loss Equation - USLE), dezvoltată de W.H. Wischmeier și D.D. Smith în 1965. Această ecuație a devenit un instrument standard pentru evaluarea pierderilor de sol cauzate de eroziunea pluvială și este utilizată pe scară largă în practici de conservare a solului și în planificarea terenurilor agricole [364].

USLE a fost o formulă revoluționară care permitea cercetătorilor să estimeze eroziunea solului pe baza factorilor precum precipitațiile, tipul de sol, panta terenului, utilizarea terenului și practicile de gestionare. Aceasta a oferit un instrument practic și precis pentru evaluarea riscului de eroziune și a efectelor măsurilor de conservare a solului.

În paralel, au fost dezvoltate și alte metode de monitorizare, cum ar fi studiile de teren, măsurarea sedimentelor transportate de râuri și studierea variațiilor topografice prin metode geodezice. Aceste metode cantitative au îmbunătățit semnificativ înțelegerea proceselor de eroziune și au permis aplicarea acestora în diverse medii și condiții climatice [269].

4.2. Metodele moderne de analiză a eroziunii solului

4.2.1. Utilizarea teledetecției și a GIS

Tehnologiile moderne, precum teledetecția și GIS, au transformat modul în care se studiază eroziunea solului. Teledetecția, prin intermediul sateliților și dronelor, permite monitorizarea schimbărilor în utilizarea terenurilor și evaluarea riscurilor de eroziune la scară globală. Datele multispectrale și hiperspectrale colectate de sateliți, precum Landsat și Sentinel, oferă informații detaliate despre vegetație, tipul de sol și impactul eroziunii asupra suprafețelor terestre.

GIS a devenit un instrument esențial în analiza eroziunii solului, deoarece permite integrarea și analiza unor volume mari de date spațiale. Prin utilizarea GIS, cercetătorii pot crea modele digitale ale terenului (Digital Elevation Models, DEMs) și hărți de risc care indică zonele vulnerabile la eroziune. Aceste tehnologii permit o planificare mai precisă și mai eficientă a măsurilor de conservare a solului.

De exemplu, în India, utilizarea combinată a teledetecției și GIS a fost esențială pentru monitorizarea eroziunii solului în regiuni vulnerabile la musoni. Modelele create pe baza datelor satelitare au permis identificarea zonelor cu risc ridicat de eroziune și implementarea de măsuri preventive [270].

4.2.2. Modelele de eroziune avansate: RUSLE și WEPP

Ecuația Universală a Eroziunii Solului a fost extinsă și îmbunătățită în timp, ducând la dezvoltarea Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), care include noi variabile și metode de calcul adaptate pentru diferite tipuri de terenuri și utilizări ale solului. RUSLE este utilizată pe scară largă pentru evaluarea riscurilor de eroziune la

BUPT

scară locală și regională și pentru monitorizarea impactului schimbărilor climatice și al activităților umane asupra solului [289].

De asemenea, a fost dezvoltat modelul Water Erosion Prediction Project (WEPP), un model avansat care simulează procesele de eroziune prin intermediul unor algoritmi hidrologici și de transport de sedimente. WEPP oferă o simulare detaliată a eroziunii și a transportului de sedimente la nivel de bazin hidrografic, fiind utilizat în numeroase studii de mediu și agricultură pentru a evalua impactul utilizării terenurilor și a practicilor agricole asupra eroziunii solului [240].

4.2.3. Utilizarea tehnologiilor de Machine Learning și AI

Un alt progres recent în studiul eroziunii solului este integrarea inteligenței artificiale (AI) și a algoritmilor de Machine Learning pentru analizarea datelor complexe și realizarea de predicții precise. Aceste tehnologii sunt utilizate pentru a analiza factorii care contribuie la eroziune și pentru a prezice riscul de eroziune în diferite scenarii climatice și de utilizare a terenului [241].

Modelele AI pot analiza datele din sateliți și din măsurători de teren pentru a identifica tiparele de eroziune și pentru a oferi recomandări pentru gestionarea solului. Aceste instrumente sunt esențiale pentru gestionarea resurselor de sol într-un mod durabil, mai ales în contextul schimbărilor climatice.

4.3. Perspective viitoare în studiul eroziunii solului

4.3.1. Impactul schimbărilor climatice asupra eroziunii solului

În contextul schimbărilor climatice, eroziunea solului devine o problemă globală din ce în ce mai acută. Creșterea frecvenței precipitațiilor extreme și a perioadelor de secetă intensifică procesele de eroziune, afectând în mod semnificativ terenurile agricole și ecosistemele naturale. Studiile recente sugerează că este necesară o adaptare rapidă a practicilor de gestionare a solului pentru a face față acestor provocări [254].

Tehnologiile moderne, cum ar fi teledetecția și modelele avansate de predicție a eroziunii, vor juca un rol crucial în monitorizarea și atenuarea impactului schimbărilor climatice asupra solurilor. De asemenea, dezvoltarea unor politici eficiente de gestionare a terenurilor, bazate pe date științifice precise, este esențială pentru protejarea resurselor de sol la nivel global.

4.3.2. Conservarea și refacerea solurilor

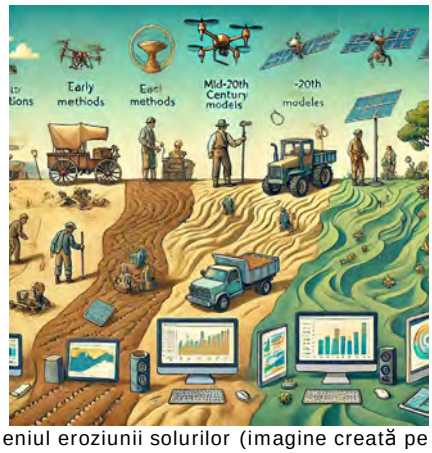
O altă direcție importantă de cercetare este identificarea și aplicarea unor metode eficiente de conservare și refacere a solurilor afectate de eroziune. Practicile agricole durabile, cum ar fi agroforesteria, utilizarea culturilor de acoperire și rotația culturilor, sunt esențiale pentru reducerea eroziunii și refacerea calității solului [325].

De asemenea, tehnologiile de reîmpădurire și refacere a vegetației naturale sunt eficiente în prevenirea eroziunii pe versanți și în zonele aride. În prezent, există o colaborare globală în cadrul proiectelor de restaurare a solurilor degradate, cum ar fi inițiativele de combatere a deșertificării în regiunea Sahel.

Imagine de mai jos ilustrează evoluția metodelor de cercetare a eroziunii solului, de la metodele tradiționale până la tehnologiile moderne, inclusiv utilizarea imaginilor satelitare, dronelor și modelelor predictive AI [250].

Eroziunea solului reprezintă o problemă globală care afectează direct securitatea alimentară, ecosistemele naturale și sustenabilitatea economică. De-a lungul timpului, metodele de analiză a eroziunii solului au evoluat semnificativ, de la observațiile empirice și măsurătorile de teren la utilizarea tehnologiilor moderne, precum teledetecția, GIS, modelele computerizate și inteligența artificială.

BUPT



Istoria cercetărilor în domeniul eroziunii solurilor (imagine creată pe baza datelor din literatura de specialitate [250])

În prezent, tehnologiile avansate permit o monitorizare mai precisă și o gestionare mai eficientă a eroziunii solului, dar schimbările climatice și activitățile umane intensifică procesele de degradare a solului. Este esențial ca cercetătorii și factorii de decizie să colaboreze pentru a implementa practici durabile de gestionare a terenurilor și pentru a proteja resursele de sol pentru generațiile viitoare.

BUPT

PARTEA I-A
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL TEMEI

1. INTRODUCERE ŞI PROBLEME GENERALE

1.1 Justificarea actualităţii temei de cercetare

Actualitatea temei de cercetare privind utilizarea metodelor avansate bazate pe GIS și teledetecție pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune în bazinul hidrografic al Crişului Alb este justificată de mai mulți factori interconectați, care reflectă provocările actuale în gestionarea resurselor naturale, în special în contextul schimbărilor climatice, al dezvoltării economice și al presiunilor asupra ecosistemelor.

1. Gestionarea sustenabilă a resurselor de apă și prevenirea riscurilor hidrogeomorfologice

Unul dintre principalele motive pentru care tema cercetării este de mare actualitate este necesitatea unei gestionări eficiente și sustenabile a resurselor de apă. Schimbările climatice au adus o creștere semnificativă a frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme, cum ar fi ploile torențiale, care duc la viituri rapide și la inundații. Aceste evenimente au un impact deosebit asupra bazinelor hidrografice vulnerabile, cum este Crișul Alb, unde s-au înregistrat inundații majore în anii 1970, 1981, 1995, 2000, 2005, 2006 și 2014. Fiecare dintre aceste evenimente a provocat pierderi semnificative, daune asupra infrastructurii și terenurilor agricole, precum și consecințe sociale și economice importante.

2. Vulnerabilitatea bazinului Crișului Alb la fenomenele extreme

Bazinul hidrografic Crișul Alb este situat într-o zonă geografică ce cuprinde atât regiuni montane, deluroase, cât și zone de câmpie, care sunt afectate de o varietate de factori naturali și/sau antropici. Relieful variat, cu altitudini care variază de la 82 m la 1587 m, combinat cu un regim pluviometric neuniform, face ca anumite zone din bazin să fie extrem de vulnerabile la fenomene precum inundațiile și eroziunea. În special zonele de câmpie și depresiune sunt expuse la acumulări de apă și inundații, mai ales atunci când gestionarea infrastructurii și planificarea urbană nu țin cont de riscurile naturale.

3. Impactul schimbărilor climatice asupra regimului hidrologic și al utilizării terenurilor

Schimbările climatice nu doar că intensifică fenomenele meteorologice extreme, dar afectează și modul de utilizare a terenurilor, ceea ce poate agrava riscurile hidrogeomorfologice. Creșterea cantității de precipitații, asociată cu o distribuție spațială și temporală inegală, contribuie la amplificarea riscurilor de inundații și eroziune a solului. Proiecțiile climatice pentru viitor sugerează că aceste fenomene vor deveni mai frecvente și mai severe, punând o presiune suplimentară

BUPT

asupra sistemelor de management al apelor și asupra comunităților locale din bazinul Crișului Alb.

Un alt aspect important este dinamica schimbărilor în utilizarea terenurilor, care a fost semnificativă între 1990 și 2018 în bazinul Crișului Alb. Extinderea terenurilor arabile, în detrimentul zonelor naturale și umede, a dus la o creștere a vulnerabilității la inundații și la o degradare a solurilor, în special în zonele cu soluri argiloase sau aluvionare, care au o capacitate de drenaj redusă. De asemenea, expansiunea continuă a terenurilor agricole până în 2035, așa cum arată proiecțiile, va exacerba aceste riscuri, făcând necesară adoptarea unor măsuri de conservare și protecție a solurilor.

4. Necesitatea utilizării tehnologiilor moderne de analiză și predicție

În acest context, utilizarea tehnologiilor moderne, cum ar fi GIS (Sisteme Informatice Geografice) și teledetecția, devine esențială pentru monitorizarea și evaluarea detaliată a riscurilor hidrogeomorfologice. Aceste tehnologii permit colectarea, analiza și interpretarea unor seturi complexe de date geospațiale, provenite din surse diverse și formate multiple, ceea ce oferă o imagine integrată asupra bazinului hidrografic. Prin intermediul tehnologiilor de teledetecție, se pot urmări schimbările climatice și hidrologice, cum ar fi variațiile în acoperirea solului, modificările în utilizarea terenurilor și regimul hidrologic al râurilor.

Modelele avansate de predicție, cum ar fi cele bazate pe modelarea hidrologică și pe algoritmi multicriteriali (de exemplu, Analytic Hierarchy Process – AHP), permit o prognoză detaliată a zonelor susceptibile la inundații și eroziune, în funcție de un set complex de factori naturali și antropici. Aceste instrumente oferă, de asemenea, posibilitatea de a analiza scenarii pentru viitor, permițând factorilor de decizie să implementeze măsuri de prevenție și adaptare, esențiale în contextul gestionării riscurilor climatice.

5. Importanța adaptării la realitățile climatice și a managementului durabil al resurselor

Pe măsură ce schimbările climatice devin din ce în ce mai evidente, adaptarea la noile condiții climatice devine o prioritate. În bazinul Crișului Alb, fenomenele meteorologice extreme, cum ar fi topirea rapidă a zăpezilor și ploile torențiale, vor intensifica riscul de viituri și alunecări de teren, fenomene strâns legate de utilizarea necorespunzătoare a terenurilor și de capacitatea solului de a gestiona surplusul de apă. O cercetare detaliată și multidisciplinară asupra acestor procese devine esențială pentru a dezvolta strategii eficiente de gestionare a riscurilor.

De asemenea, măsurile de reîmpădurire, conservarea solurilor și gestionarea integrată a apelor vor juca un rol esențial în protejarea comunităților locale și a resurselor naturale. Proiectele de reîmpădurire, utilizarea benzilor de vegetație și a practicilor agricole sustenabile pot reduce semnificativ eroziunea solului și riscul de inundații, contribuind la dezvoltarea unor strategii de adaptare eficiente la nivel regional.

6. Utilizarea datelor și metodelor replicabile pentru alte regiuni vulnerabile

Un alt aspect important al cercetării este posibilitatea replicării metodelor și modelelor utilizate pentru bazinul Crișului Alb în alte regiuni similare, atât din România, cât și din alte țări. Modelele geospațiale complexe, care integrează date din diverse surse și formate, pot fi utilizate de instituțiile de profil și cercetători pentru a analiza și prognoza riscurile hidrogeomorfologice în alte bazine hidrografice vulnerabile.

Accesul la datele geospațiale și aplicarea unor soluții open-source oferă posibilitatea unei diseminări largi a rezultatelor și contribuie la îmbunătățirea

BUPT

capacității de răspuns a comunităților locale și a autorităților responsabile cu gestionarea riscurilor. Astfel, rezultatele obținute în urma cercetării pot contribui la dezvoltarea de politici publice care să sprijine managementul durabil al resurselor și reducerea vulnerabilităților la fenomenele extreme.

7. Contribuția la politicile publice și strategii de dezvoltare sustenabilă

Cercetările privind susceptibilitatea la inundații și eroziune nu se opresc la nivel teoretic, ci au un impact direct asupra politicilor publice și strategiilor de dezvoltare regională. Rezultatele obținute prin utilizarea tehnologiilor GIS și de teledetecție oferă factorilor de decizie informații critice pentru implementarea unor măsuri eficiente de protecție și prevenție. Aceste măsuri sunt necesare pentru a asigura securitatea alimentară, protejarea infrastructurii și reducerea pierderilor economice în zonele agricole vulnerabile.

Implementarea unor strategii de management al resurselor și măsuri de adaptare la schimbările climatice reprezintă o prioritate internațională, iar cercetările de acest tip oferă soluții valoroase care pot fi integrate în planurile de dezvoltare sustenabilă ale regiunilor afectate.

În concluzie, tema cercetării este deosebit de actuală datorită provocărilor generate de schimbările climatice, presiunilor asupra utilizării terenurilor și necesității de a gestiona eficient riscurile hidrogeomorfologice. Utilizarea tehnologiilor avansate, cum ar fi GIS și teledetecția, oferă instrumentele necesare pentru monitorizarea, evaluarea și prevenirea riscurilor în bazinul Crișului Alb și contribuie la dezvoltarea unor politici sustenabile și strategii de adaptare esențiale pentru protejarea comunităților și a resurselor naturale în fața fenomenelor climatice extreme.

1.2. Obiectivele tezei de doctorat şi raportarea acestora la cercetările existente

Scopul tezei de doctorat intitulată „*Metode avansate bazate pe GIS și teledetecție pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune, în amenajările hidrotehnice și hidroameliorative. Studii de caz: bazinul hidrografic Crișul Alb*” este implementarea și aplicarea unor fluxuri de lucru bazate pe metode avansate de GIS și teledetecție pentru trei direcții principale de cercetare: analiza fizico-geografică detaliată a bazinului, evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune și modelarea hidrologică și hidraulică. Aceste cercetări urmăresc să contribuie la gestionarea durabilă a resurselor de apă și teren, oferind soluții integrate pentru amenajările hidrotehnice și hidroameliorative, într-un context marcat de schimbările climatice și de dinamica accelerată a utilizării terenurilor.

Pentru realizarea scopului propus, au fost urmărite principalele obiective specifice ale cercetărilor:

1. Caracterizarea fizico-geografică, hidrologică și a dinamicii modului de utilizare a terenului în bazinul Crișului Alb:

- analiza geospațială detaliată a structurii fizico-geografice, a distribuției precipitațiilor și a rețelei hidrografice, utilizând tehnici avansate GIS;
- monitorizarea și evaluarea dinamicii utilizării terenului între anii 1990 și 2018, precum și predicția schimbărilor pentru anul 2035;

2. Estimarea susceptibilității la inundații în bazinul Crișului Alb:

- aplicarea unui model geospațial complex, integrând zece factori relevanți pentru inundații (precipitații, densitatea drenajului, elevația, panta terenului, distanța față de râuri etc.);

BUPT

- generarea hărților de susceptibilitate la inundații și identificarea zonelor cu risc ridicat, pentru a sprijini implementarea măsurilor de prevenție și management al riscurilor;

3. Modelarea spațială a eroziunii solului prin tehnici GIS:

- utilizarea modelului USLE pentru a estima rata anuală de pierdere a solului și a analiza factorii principali ai eroziunii (precipitațiile, erodabilitatea solului, topografia, utilizarea terenului şi practicile de conservare);
- crearea hărților tematice pentru susceptibilitatea la eroziune, cu scopul de a identifica zonele cu risc ridicat și de a propune măsuri de îmbunătățire funciară și conservare a solurilor;

4. Aplicarea tehnicilor de modelare hidrologică și a modelării hidraulice:

- modelarea hidrologică pentru extragerea informaţiilor la nivel de bazin;
- aplicarea modelării hidraulice pentru evaluarea curgerii apei și a riscurilor de inundație pe un sector al râului Cigher, afluent al Crișului Alb;
- simularea în diferite scenarii de curgere și evaluarea impactului acestora asupra terenurilor și infrastructurii.

Aceste obiective urmăresc să integreze noile tehnologii și tehnici de analiză geospațială într-un model complex, capabil să ofere soluții pentru gestionarea riscurilor naturale într-un mod sustenabil și eficient, în bazinul Crişului Alb.

Raportarea la cercetările existente

Cercetările anterioare au demonstrat relevanța tehnologiilor geospațiale în gestionarea resurselor de apă și evaluarea riscurilor naturale, însă abordarea utilizată în această lucrare aduce contribuții originale prin integrarea unor seturi de date complexe și variate, provenite din multiple surse, și aplicarea de tehnici avansate GIS și de teledetecție. Modelele dezvoltate pot fi replicate pentru alte bazine hidrografice sau zone cu condiţii similare, oferind un cadru metodologic care să sprijine gestionarea eficientă a riscurilor de inundații și eroziune în contextul schimbărilor climatice și al presiunilor asupra terenurilor.

În concluzie, cercetările din această lucrare oferă soluții inovatoare și aplicabile pentru îmbunătățirile funciare și gestionarea sustenabilă a resurselor naturale din bazinul Crișului Alb, contribuind la consolidarea bazelor științifice pentru politici de management integrat al bazinelor hidrografice.

1.3. Evenimente hidrogeomorfologice de risc major. Definiţi, impact și relevanță în contextul schimbărilor climatice

1.3.1 Definirea evenimentelor hidrogeomorfologice de risc major

1.3.1.1. Definiția și importanța studiului evenimentelor de risc major

Evenimentele hidrogeomorfologice reprezintă procese naturale complexe care implică interacțiuni între apă și teren, având un impact major asupra mediului și societății. Aceste evenimente includ inundațiile, eroziunea, alunecările de teren și alte fenomene similare care modifică peisajul geomorfologic. Studiul acestor fenomene este esențial pentru a înțelege riscurile asociate și pentru a dezvolta strategii eficiente

BUPT

de gestionare a dezastrelor naturale [250]. Pe măsură ce schimbările climatice amplifică frecvența și intensitatea acestor evenimente [10], importanța studiului lor devine tot mai evidentă.

De exemplu, inundațiile pot avea efecte devastatoare asupra infrastructurii, economiei și vieților umane. Înțelegerea dinamicii acestor evenimente și a modului în care interacționează cu peisajul permite specialiștilor să creeze hărți de risc și să implementeze măsuri de prevenire și răspuns rapid în caz de dezastru ([17]; [164]).

Evenimentele hidrogeomorfologice pot fi clasificate în funcție de mai multe criterii, printre care natura procesului (eroziune, depunere, transport), factorii declanșatori (precipitații intense, topirea zăpezii, cutremure) și impactul asupra mediului și societății.

Principalele tipuri de evenimente includ:

- inundațiile; acestea pot fi clasificate în funcție de originea lor în inundații fluviale, pluviale, costiere și artificiale (cauzate de ruperea digurilor sau barajelor);
- eroziunea; poate fi diferențiată în eroziune fluvială, eoliană sau de coastă, în funcție de agenții care o provoacă;
- alunecările de teren; acestea sunt adesea clasificate după tipul de mișcare (cădere, alunecare, curgere) și materialul implicat (roci, pământ).

Această clasificare permite o abordare sistematică în studiul și gestionarea riscurilor, oferind un cadru pentru evaluarea și monitorizarea acestor fenomene ([347]; [144]).

1.3.1.2. Explicarea conceptelor de inundații și eroziune, ca fenomene naturale cu impact global

La nivel global, inundaţiile sunt considerate unele dintre cele mai răspândite evenimente cu caracter distructiv ([284]; [152]; [302]; [282]; [85]) şi sunt situate pe locul trei, în clasamentul dezastrelor naturale ([185]; [225]). Efectele acestor dezastre se resimt atât în mediul natural, acolo unde se produc, cât şi în plan socio-economic, prin pierderi de vieţi omeneşti, deteriorarea infrastructurii de transport, distrugerea culturilor agricole, răspândirea bolilor sau afectarea sistemelor de alimentare cu apă potabilă etc. ([226]; [122]; [280]).

Eroziunea solului este unul dintre fenomenele severe de degradare a terenurilor în multe zone ale globului ([172]; [322]) şi variază în funcţie de factorii naturali şi/sau antropici.

Balabathina şi colab. (2020) [30] consideră că aproximativ 85% din terenurile degradate, la nivel global, se datorează eroziunii solului, fenomen cu implicaţii majore asupra productivităţii culturilor, ca urmare a reducerii fertilităţii solului ([318]; [71]; [259]), considerată, în aceeaşi timp şi o problemă majoră de mediu.

De exemplu, în regiunile montane, eroziunea fluvială este un factor cheie în formarea și evoluția peisajului, dar și o amenințare constantă pentru infrastructura din aval. În plus, eroziunea costieră amenință multe zone de coastă din întreaga lume, amplificată de creșterea nivelului mării [144].

1.3.2. Relevanța subiectului în contextul schimbărilor climatice

Schimbările climatice reprezintă una dintre cele mai mari provocări ale secolului XXI, având un impact semnificativ asupra sistemelor naturale și umane [307]. În special, evenimentele de risc hidrogeomorfologic, cum ar fi inundațiile, alunecările de teren și eroziunea, au devenit mai frecvente și mai intense ca urmare a modificărilor climatice.

BUPT

1.3.2.1. Rolul schimbărilor climatice în intensificarea și frecvența evenimentelor de risc major

Schimbările climatice afectează evenimentele hidrogeomorfologice prin modificarea modelelor de precipitații, creșterea temperaturilor și schimbarea regimului de zăpadă și gheață. Creșterea temperaturilor globale determină o intensificare a procesului de evaporare, ceea ce duce la precipitații mai intense și mai frecvente în anumite regiuni.

Datele şi cercetările din literatura de specialitate susţin ideea de creştere a frecvenţei şi amplorii inundaţiilor, în ultimii ani, în special pe fondul schimbărilor climatice ([93]; [348]; [9]; [335]; [251]), factor la care se adaugă creșterea populației și a gradului de urbanizare, modificarea cursurilor de apă prin construirea de drumuri sau alte structuri, ineficienţa sistemelor de drenaj, eroziunea malurilor râurilor și acumularea de sedimente etc. ([151]; [285]). În acest context, se poate afirma că inundaţiile pot fi considerate fenomene declanşate prin convergența evenimentelor meteorologice, susţinute de circumstanțe hidrologice specifice [182].

Într-un studiu realizat de către Jemec și colab. (2023) [165], în regiunile alpine, panonice și mediteraneene, s-a observat o creștere semnificativă a alunecărilor de teren asociate cu evenimentele de precipitații intense, care au devenit mai frecvente în ultimii 30 de ani.

Inundațiile și alunecările de teren sunt două dintre cele mai devastatoare tipuri de evenimente hidrogeomorfologice, iar schimbările climatice contribuie semnificativ la intensificarea acestor fenomene. Creșterea frecvenței precipitațiilor intense și topirea accelerată a zăpezii determină o acumulare rapidă de apă în bazinele hidrografice, ceea ce duce la inundații rapide și extinse.

Inundațiile din Europa Centrală în 2013 au fost un exemplu clar al modului în care schimbările climatice pot exacerba evenimentele de risc. Aceste inundații au fost cauzate de o combinație de precipitații intense și topirea zăpezii, ceea ce a dus la creșterea nivelului râurilor și la declanșarea unor inundații majore. Analizele climatice au indicat faptul că aceste fenomene sunt tot mai frecvente din cauza schimbărilor climatice [183].

Eroziunea pluvială şi eroziunea costieră este un alt fenomen influenţat de schimbările climatice. Creșterea nivelului mării, cauzată de topirea gheţarilor și expansiunea termică a apei, conduce la o intensificare a proceselor de eroziune costieră. Acest fenomen este deosebit de problematic în regiunile cu ţărmuri joase, unde comunitățile umane sunt expuse unui risc crescut [249].

În fața intensificării evenimentelor de risc hidrogeomorfologic, este esențială dezvoltarea unor strategii eficiente de gestionare a riscurilor. Acestea includ atât măsuri de adaptare, cât și de atenuare, cum ar fi construcţia de infrastructură rezistentă la inundații, reîmpădurirea zonelor vulnerabile la alunecări de teren și implementarea unor politici stricte de gestionare a zonelor costiere.

1.3.2.2. Impactul potențial al fenomenelor de risc hidrogeomorfologic asupra societății și mediului

Evenimentele hidrogeomorfologice, cum ar fi inundațiile, secetele, alunecările de teren și eroziunea solului, au un impact semnificativ asupra mediului și societății. Aceste fenomene sunt adesea exacerbate de schimbările climatice și activitățile antropice, cum ar fi defrișările, urbanizarea și utilizarea intensivă a terenurilor. Sunt fenomene naturale care rezultă din interacțiunea dintre apă și structurile geomorfologice ale peisajului. Acestea includ inundațiile, alunecările de teren,

BUPT

eroziunea și depozitarea sedimentelor, care sunt influențate de factori precum precipitațiile intense, topografia, tipul de sol și activitățile umane.

De exemplu, inundațiile sunt frecvent rezultatul precipitațiilor extreme sau al topirii rapide a zăpezilor, în special în regiuni unde sistemele de drenaj sunt insuficiente. Pe de altă parte, alunecările de teren sunt adesea declanșate de ploile intense care satură solul, reducându-i stabilitatea [199].

Impactul asupra mediului este profund și divers, afectând ecosistemele, resursele de apă, calitatea solului și biodiversitatea.

Eroziunea solului duce la degradează terenurile agricole şi contribuie la sedimentarea corpurilor de apă, afectândcalitatea ape şi implicit habitatele acvatice cu biodiversitatea lor. Alunecările de teren pot distruge pădurile, alte habitate naturale și pot perturba cursurile naturale ale râurilor.

Modificările în utilizarea terenurilor, cum ar fi defrișările pentru agricultură sau construcția de infrastructuri, cresc susceptibilitatea la astfel de evenimente. În plus, schimbările climatice amplifică frecvența și intensitatea evenimentelor hidrogeomorfologice, exacerbând impactul asupra mediului [123].

Evenimentele hidrogeomorfologice au un impact direct asupra comunităților, afectând infrastructura, locuințele, și sănătatea publică.

Inundațiile, pot duce la pierderi economice majore, relocarea populațiilor, și deteriorarea infrastructurii critice, cum ar fi drumurile și rețelele de alimentare cu apă. De asemenea, pot provoca contaminarea surselor de apă, ducând la probleme de sănătate publică. Inundațiile frecvente nu doar că afectează infrastructura, dar au și un impact pe termen lung asupra economiei locale, prin pierderea recoltelor și a mijloacelor de trai [199].

Gestionarea riscurilor asociate cu evenimentele hidrogeomorfologice necesită o abordare integrată care combină măsuri structurale și non-structurale. Îmbunătățirea sistemelor de avertizare timpurie, consolidarea infrastructurii și promovarea practicilor durabile de utilizare a terenurilor sunt esențiale pentru reducerea vulnerabilității. De asemenea, este crucială implicarea comunităților locale în dezvoltarea și implementarea strategiilor de adaptare.

Pentru a minimiza pagubelor și a crește reziliența este importantă integrarea conceptelor de management al riscului de dezastre în planificarea urbană și rurală.
Pe de altă parte, adaptarea la aceste riscuri și reducerea impactului necesită o abordare holistică și interdisciplinară, care să includă atât măsuri de prevenire, cât și de intervenție eficientă în caz de dezastre.

1.4. Norme legislative aplicabile în România, în domeniul îmbunătăţirilor funciare, apelor şi protecţiei mediului

Evoluția legislației în domeniul îmbunătățirilor funciare din România a urmat un parcurs complex, pentru a reglementa dezvoltarea și gestionarea infrastructurilor agricole, irigațiilor și măsurilor de combatere a eroziunii solului. Conform Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale (MADR) [141] şi Agenţiei Naţionale de Îmbunătăţiri Funciare (ANIF) [6], pot fi menţionate:

1. Legea nr. 138/2004 privind îmbunătățirile funciare, publicată în Monitorul Oficial în aprilie 2004, reprezintă un punct de referință, stabilind cadrul general pentru realizarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare, precum irigații, desecări, combaterea eroziunii și ameliorarea solurilor.

Legea a fost republicată în 2009, cu actualizări legate de modul de organizare și funcționare a organizațiilor și federațiilor de îmbunătățiri funciare.

BUPT

2. Hotărârea Guvernului nr. 1872/2005 a aprobat normele metodologice de aplicare a Legii nr. 138/2004. Normele stabilesc detaliile privind implementarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare și modul în care acestea sunt realizate de organizațiile de profil.

3. Ordonanța Guvernului nr. 82/2011 a înființat Agenția Națională de Îmbunătățiri Funciare (ANIF), prin reorganizarea Administrației Naționale de Îmbunătățiri Funciare, cu scopul de a gestiona și coordona activitățile de îmbunătățiri funciare la nivel național.

4. O.U.G. nr. 45/2019 a adus modificări și completări Legii nr. 138/2004, cu accent pe finanțarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare și eficientizarea managementului sistemelor de irigații.

5. Hotărârea Guvernului nr. 1251/2021 a modificat și completat normele metodologice anterioare privind îmbunătățirile funciare, aducând ajustări importante pentru gestionarea eficientă a consumului de energie electrică pentru irigații și optimizarea sistemelor de irigații la nivel național.

Evoluția legislației în domeniul apelor din România a parcurs mai multe etape importante, prin adoptarea de acte normative esențiale pentru gestionarea și protejarea resurselor de apă, atât la nivel național, cât și în conformitate cu legislația europeană ([141]; [3]; [4]):

1. Legea Apelor nr. 107/1996, prima lege importantă în domeniul apelor din România, adoptată în 1996. Aceasta reglementează utilizarea, protecția și gestionarea resurselor de apă. Este un document de bază care a suferit multiple modificări ulterioare: a fost actualizată și completată de mai multe ori, inclusiv în 2020 și 2023, pentru a armoniza legislația națională cu reglementările europene privind gestionarea durabilă a resurselor de apă.

2. Ordonanța de Urgență nr. 107/2002 a fost emisă pentru a înființa Administrația Națională „Apele Române" (ANAR), instituția responsabilă de gestionarea apelor. Această ordonanță a fost aprobată și completată de Legea nr. 404/2003 și ulterior modificată pentru a flexibiliza gestionarea apelor și a proiectelor legate de infrastructura hidrologică.

3. H.G. nr. 80/2011 și H.G. nr. 859/2016 prin care au fost aprobate Planurile Naționale de Management pentru porțiunea din bazinul hidrografic internațional al fluviului Dunărea din România. Aceste planuri sunt esențiale pentru îndeplinirea obligațiilor de mediu stabilite de Directiva Cadru privind Apa (Directiva 2000/60/CE).

4. Legea nr. 259/2010 (Legea siguranței digurilor) reglementează măsurile de siguranță pentru construcțiile hidrotehnice precum digurile, având ca obiectiv prevenirea inundațiilor și protejarea infrastructurii critice de apă.

5. H.G. nr. 972/2016 această hotărâre de guvern a aprobat Planurile de Management al Riscului la Inundații pentru cele 11 administrații bazinale de apă din România. Aceasta acționează în conformitate cu Directiva 2007/60/CE privind evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații, fiind parte din eforturile României de a gestiona riscurile naturale în zonele expuse.

6. O.U.G. nr. 1/2023 a fost aprobată pentru modificarea și completarea unor acte normative din domeniul apelor, incluzând reglementări privind reutilizarea apei uzate în agricultură și irigații, în conformitate cu legislația europeană. Această ordonanță a fost emisă pentru a facilita realizarea proiectelor de infrastructură și pentru a actualiza contribuțiile legate de gospodărirea apelor.

Evoluția legislației în domeniul protecției mediului în România, conform Ministerului Mediului, Apelor şi Pădurilor (ANPM) [229], reflectă angajamentele luate în contextul integrării europene și a preocupărilor globale pentru mediu:

BUPT

1. Legea Mediului nr. 137/1995, prima lege cuprinzătoare privind protecția mediului, aceasta a introdus concepte fundamentale precum dezvoltarea durabilă și principiul "poluatorul plătește". A fost ulterior abrogată.

2. OUG nr. 195/2005 privind protecția mediului: Act normativ de bază, care preia directive europene esențiale, precum Directiva-cadru privind apa și Directiva EIA (Evaluarea Impactului asupra Mediului). Actualizată constant pentru a îndeplini cerințele Uniunii Europene.

3. Legea nr. 265/2006, a aprobat OUG nr. 195/2005, introducând modificări pentru a alinia legislația la standardele europene în materie de protecție a mediului.

4. Directiva UE 2010/75/EU privind emisiile industriale: Transpusă în legislația română prin modificările aduse OUG 195/2005, acest act impune reglementări stricte pentru limitarea poluării din activitățile industriale.

5. OUG nr. 57/2007 privind ariile naturale protejate: Asigură protecția biodiversității și transpunerea directivei europene Habitat și Păsări.

6. Legea nr. 278/2013 privind emisiile industriale: Implementarea directivei europene privind emisiile industriale, completând legislația națională pentru protejarea calității aerului.

7. Legea nr. 220/2019, modifică și completează acte normative din domeniul protecției mediului, consolidând regimul sancțiunilor pentru neconformitate.

În continuare este prezentată legislația europeană aplicabilă în domeniul îmbunătățirilor funciare, în domeniul apelor şi al protecţiei mediului, în România ([229]; [141]; [3]; [4]; [6]; [277]).

1. În domeniul Îmbunătăţirilor funciare

În România, legislația europeană aplicabilă în domeniul îmbunătățirilor funciare este legată de politica agricolă și de gestionarea durabilă a resurselor de apă pentru agricultură. Politica Agricolă Comună (PAC) joacă un rol major în dezvoltarea infrastructurii rurale și în sprijinirea îmbunătățirilor funciare.

Legislație relevantă:

- Regulamentul (UE) nr. 1305/2013 privind sprijinul pentru dezvoltare rurală prin Fondul European Agricol pentru Dezvoltare Rurală (FEADR): acest regulament sprijină investițiile în infrastructura agricolă, inclusiv îmbunătățirile funciare și reabilitarea sistemelor de irigații;
- Regulamentul (UE) nr. 1306/2013 privind finanțarea, gestionarea și monitorizarea politicii agricole comune: include prevederi pentru finanțarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare prin scheme de sprijin pentru irigații și drenaj.

Transpunerea în România:

- Legea nr. 138/2004 a îmbunătățirilor funciare a fost modificată pentru a se alinia cerințelor europene și pentru a facilita accesul la fondurile europene destinate irigațiilor și îmbunătățirilor funciare;
- Programul Național de Dezvoltare Rurală (PNDR) 2014-2020 [142], în cadrul măsurii 4.3, prevede sprijin pentru investiții în infrastructura agricolă, în special pentru modernizarea sistemelor de irigații. România a implementat măsuri care vizează reabilitarea infrastructurilor de irigații și extinderea rețelelor, în concordanță cu regulamentele europene.

2. În domeniul apelor

Legislația europeană în domeniul apelor se bazează pe gestionarea durabilă a resurselor de apă și pe protejarea ecosistemelor acvatice. Directiva-cadru a apei este instrumentul principal prin care statele membre reglementează utilizarea și protecția resurselor de apă.

BUPT

Legislație relevantă:

- Directiva 2000/60/CE (Directiva-cadru privind apa); aceasta stabilește un cadru pentru protecția apelor de suprafață, apelor subterane, a ecosistemelor acvatice și a zonelor umede. Directiva cere statelor membre să ajungă la un bun statut ecologic al apelor până în 2027;

- Directiva 91/271/CEE privind epurarea apelor uzate urbane; stabilește cerințe pentru colectarea și tratarea apelor uzate urbane pentru a preveni poluarea apelor dulci și marine;

- Directiva 2007/60/CE privind evaluarea și gestionarea riscului la inundații; reglementează evaluarea și gestionarea riscurilor asociate cu inundațiile, cerând statelor membre să dezvolte hărți ale riscurilor și să implementeze măsuri de prevenire și protecție.

Transpunerea în România:

- Legea apelor nr. 107/1996 a fost modificată și actualizată de mai multe ori pentru a include prevederile Directivei 2000/60/CE. Implementarea directivei este realizată de Administrația Națională Apele Române (ANAR), care monitorizează starea apelor și implementează planuri de management al bazinelor hidrografice;

- Planurile de management al riscului la inundații (PMRI) au fost elaborate în conformitate cu Directiva 2007/60/CE și sunt coordonate de Ministerul Mediului și ANAR, stabilind măsuri concrete pentru prevenirea și gestionarea riscurilor de inundații în România.

3. În domeniul protecției mediului

Legislația europeană în domeniul protecției mediului este vastă și include reglementări pentru protejarea biodiversității, reducerea poluării și promovarea dezvoltării durabile. România trebuie să respecte aceste directive în toate politicile și proiectele care afectează mediul.

Legislație relevantă:

- Directiva 92/43/CEE privind conservarea habitatelor naturale și a faunei și florei sălbatice (Directiva Habitate); reglementează protecția zonelor naturale și stabilește rețeaua Natura 2000, în vederea conservării speciilor și habitatelor importante;

- Directiva 2008/50/CE privind calitatea aerului înconjurător și un aer mai curat pentru Europa: Stabilește standarde pentru calitatea aerului, în special pentru particulele PM10 și PM2.5;

- Regulamentul (UE) 2018/841 privind utilizarea terenurilor, schimbările de destinație a terenurilor și silvicultura (LULUCF); promovează reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin gestionarea durabilă a pădurilor și a terenurilor agricole.

Transpunerea în România:

- Ordonanța de Urgență nr. 57/2007 privind regimul ariilor naturale protejate a fost implementată pentru a alinia România la Directiva Habitate, creând cadrul juridic pentru protecția biodiversității. România are peste 500 de situri Natura 2000, gestionate de Ministerul Mediului;

- Legea nr. 278/2013 privind emisiile industriale a transpus în legislația națională cerințele europene privind controlul și reducerea poluării aerului;

- Planurile naționale de acțiune pentru climă și energie (PNIESC) includ obiective privind utilizarea terenurilor și reducerea emisiilor, în conformitate cu regulamentul LULUCF.

România a transpus legislația europeană în toate cele trei domenii, ajustând cadrul legal național pentru a respecta cerințele impuse de Uniunea Europeană. Acest proces de armonizare implică reglementarea și aplicarea unor norme stricte privind protecția apelor, îmbunătățirile funciare și protecția mediului, facilitând accesul la fonduri europene pentru proiecte de dezvoltare durabilă.

BUPT

2. INUNDAȚIILE LA NIVEL GLOBAL ȘI REGIONAL: MECANISME, DISTRIBUȚIE GEOGRAFICĂ ȘI ESTIMĂRI GEOMATICE

Inundațiile reprezintă un fenomen complex cu impact semnificativ la nivel global și regional, determinat de o serie de mecanisme naturale și antropice. Distribuția lor geografică este influențată de factori climatici, topografici și hidrologici specifici fiecărei regiuni, iar estimările moderne se bazează tot mai mult pe metode geomatice avansate pentru a prezice și gestiona aceste riscuri cu acuratețe sporită.

2.1. Mecanisme şi factorii care contribuie la producerea inundaţiilor

Inundaţiile, fenomene cu producere rapidă în timp, sunt considerate unele dintre cele mai distructive evenimente hidrogeomorfologice, care distrug sau afectează grav spaţiul în care se manifestă. Acestea sunt rezultatul unei combinații complexe de factori naturali și antropici care influențează regimul hidrologic al unui bazin hidrografic [250].

Inundațiile, independent de tipul acestora, trec prin mai multe etape, de la apariția condițiilor favorabile producerii lor, până la manifestarea completă. Aceste etape includ o combinație de procese naturale și factori declanșatori care duc la acumularea excesivă de apă și la revărsarea acesteia din albiile naturale sau artificiale.

1. Apariția condițiilor favorabile. Această etapă se referă la formarea condițiilor meteorologice sau climatice care pot duce la acumularea de apă. Printre aceste condiții se numără:

- precipitațiile intense; aversele prelungite sau ploile torențiale într-o perioadă scurtă de timp sunt un factor principal; de asemenea, furtunile, cicloanele sau uraganele pot contribui semnificativ la acest proces [171];
- topirea zăpezilor; în regiunile montane sau nordice, topirea rapidă a zăpezii și gheţarilor poate genera un flux suplimentar de apă în râuri ([350]; [199]);
- saturația solului; când solul este deja saturat din cauza precipitațiilor anterioare, capacitatea sa de a absorbi apă este redusă, ceea ce duce la creșterea scurgerii de suprafață.

2. Acumularea apei - pe măsură ce cantitatea de apă crește din cauza precipitațiilor, topirii zăpezilor sau altor surse, aceasta începe să se acumuleze la suprafață. Acumularea se poate produce în mai multe forme:

- râuri și bazine hidrografice; când volumul de apă depășește capacitatea de transport a unui râu, nivelul apei crește și începe să se reverse;
- zonele urbane; suprafețele impermeabile, cum ar fi drumurile și clădirile, cresc volumul de apă care nu poate fi absorbit de sol, ducând la acumularea rapidă de apă pe străzi și în alte zone urbanizate.

3. Depășirea capacității de drenaj. Când sistemele naturale sau artificiale de drenaj nu pot gestiona volumul de apă acumulată, începe să apară revărsarea. În

BUPT

această etapă, apa poate depăși albiile râurilor, barajele sau alte structuri de protecție și se răspândește în zonele înconjurătoare.

La revărsarea râurilor, în cazul în care își depășesc albiile naturale, inundă câmpiile aluvionare adiacente, afectând atât mediul, cât și infrastructura [199].

În cazul sistemelor urbane de drenaj şi a rețelelor de canalizare, acestea pot fi supraalimentate, ducând la inundații pluviale, în special în zonele joase și dens populate.

4. Manifestarea inundațiilor este etapa finală în care inundațiile își ating potențialul maxim de distrugere. Manifestarea completă a inundațiilor se poate produce ca:

- inundaţii rapide, care apar atunci când apa se acumulează foarte repede, cum ar fi în cazul inundațiilor fulgerătoare, care se manifestă în câteva minute sau ore după începutul precipitațiilor intense [171];
- inundații de durată, sunt cele care persistă pe o perioadă mai lungă de timp, cum ar fi inundațiile cauzate de revărsarea râurilor mari sau de topirea lentă a zăpezilor.

Printre cei mai importanţi factori care contribuie la producerea şi manifestarea inundaţiilor se numără precipitaţiile extreme, topirea zăpezilor și a gheţarilor, modificările în utilizarea terenurilor, schimbările climatice, eroziunea solului și acumularea sedimentelor, etc.

1. Precipitațiile extreme, se referă la cantitatea mare de apă căzută într-o perioadă scurtă de timp. Acestea saturează solul și astfel este depășită capacitatea de absorbție a acestuia, determinând acumularea rapidă a apei la suprafață. Acest fenomen este amplificat în cazul furtunilor intense sau al cicloanelor tropicale, care pot aduce cantități mari de apă într-un timp foarte scurt [171].

Inundațiile rapide sunt printre cele mai distructive hazarde naturale din lume, cu impact grav sub aspect socio-economic și de mediu, asupra zonelor afectate ([369]; [255]; [171]). Inundațiile fulgerătoare apar ca rezultat al unor precipitații extreme cu intensități mari, caracterizate prin debite în creștere rapidă, cu mișcare rapidă, care pot duce la pagube devastatoare [98]. De asemenea, se știe că inundațiile fulgerătoare au cele mai mari rate medii de mortalitate în comparație cu alte tipuri de inundații [97]. Precipitațiile, alături de alţi factori naturali şi antropici pot influența apariția inundațiilor rapide ([98]; [255]; [377]). În peisajele abrupte, stâncoase sau în zonele puternic urbanizate, pot apărea inundații fulgerătoare chiar și ca urmare a cantităților relativ mici de ploaie [98].

În unele bazine de recepţie cu suprafeţe relativ mari, precipitaţiile pot avea loc doar în zonele muntoase, în timp ce inundaţiile se manifestă adesea prin râurile din câmpiile aflate în aval, zone în care se observă cantităţi mici de precipitaţii sau chiar absenţa acestora, în timpul inundaţiilor cu producere rapidă. Această formă de viitură rapidă poate fi denumită inundație alohtonă a râului, deoarece originea apei se află într-un loc diferit de locul manifestării inundației [171].

Natura alohtonă a râurilor a fost supusă unor studii în trecut. De exemplu, Deodhar şi colab. (1999) [88] a constatat o scădere a raportului lățime-adâncime al râurilor din regiunea Deccan Trap (India) datorită naturii alohtone a râurilor și a modificărilor consecințelor în debit. Wrzesiński şi colab. (2020) [365] a studiat schimbările în regimul de curgere al râului Vistula în Polonia în anii 1971–2010 și a concluzionat că natura alohtonă a râului joacă un rol semnificativ în alternanțele regimului de curgere a râului. În timp ce multe inundații, cum ar fi inundația din 2013 a râului Elba din Magdeburg, Germania, pot fi clasificate drept alohtone [90], merită să se studieze modul în care diferite procese, cum ar fi precipitațiile și dinamica lor, pot interacționa cu astfel de inundații. Mai mult, aceste tipuri de inundații pot fi

BUPT

clasificate în principal drept inundaţii fluviale, care au cunoscut o creştere în ultimii ani în întreaga lume [43].

2. Topirea zăpezilor şi gheţarilor, în regiunile montane sau nordice, reprezintă un alt mecanism major de producere a inundaţiilor [350]. Cantităţi mari de apă sunt stocate sub formă de zăpadă şi gheţari ([119]; [66]) iar această apă poate fi descărcată în bazine de captare ([129]; [261]; [329]). În timpul primăverii, temperaturile crescute determină topirea rapidă a zăpezii acumulată în timpul iernii, ceea ce poate duce la creşterea debitului râurilor şi implicit, la inundaţii.

Inundaţiile care apar ca efect al topirii zăpeziilor reprezintă ameninţări serioase pentru sistemele naturale şi socio-economice. Aproximativ o şesime din populaţia lumii trăieşte în apropierea râurilor care sunt supuse riscului de inundaţii prin topirea zăpezii [156]. Apa rezultată prin topirea zăpezilor este utilizată în scopuri agricole, industriale şi alimentarea populaţiei [206]. Conform statisticilor recente, torenţii de munte au fost responsabili pentru aproximativ 70% din decesele cauzate de inundaţii ([200]; [194]), iar pierderile asociate dezastrelor au reprezentat mai mult de 50% din totalul deceselor ([204]; [376]). Inundaţiile frecvente pot reprezenta o ameninţare semnificativă pentru anumite populaţii, în special pentru cele din zonele de mare altitudine, afectate de astfel de inundaţii [350].

3. Modificările în utilizarea terenurilor

Schimbarea utilizării/acoperirii terenului, în bazinele hidrografice din amonte, va schimba caracteristicile sistemelor de drenaj astfel încât acestea vor favoriza revărsarea apei pe suprafeţele din aval, prin afectarea capacităţii de infiltrare a acesteia [327].

Principala preocupare cu privire la inundaţiile frecvente este schimbarea tiparelor de utilizare a terenurilor din cauza nevoii tot mai mari de terenuri pentru agricultură şi alte utilizări ale terenului [126]. Activităţile antropice, cum ar fi defrişările, urbanizarea şi agricultura intensivă, au un impact direct asupra regimului hidrologic al unui bazin şi pot contribui la creşterea riscului de inundaţii. Defrişările reduc capacitatea vegetaţiei de a intercepta precipitaţiile şi de a facilita infiltrarea apei în sol, ceea ce creşte scurgerea de suprafaţă.

Creşterea urbanizării rezultată din transformarea terenurilor forestiere în terenuri agricole sau aşezări este o schimbare reală. Urbanizarea, prin crearea suprafeţelor impermeabile (cum ar fi drumurile şi clădirile), reduce spaţiul disponibil pentru infiltrare şi creşte scurgerea rapidă a apei în sistemele de drenaj, care pot fi supraîncărcate.

Impactul creşterii defrişărilor asupra proceselor de drenaj este relativ uşor de identificat. În zonele dezvoltate, s-a constatat că o creştere a suprafeţei rezistente la inflitrarea apei determină o creştere a ratei de scurgere a apei de pe teren. Aceasta împiedică capacitatea naturală de reţinere a apei şi modifică stratul de subsol sau mişcarea apei subterane, ducând la o creştere a dezvoltării inundaţiilor şi a volumului de apă evacuată în timpul inundaţiilor ([373]; [218]).

Creşterea populaţiei şi a spaţiului construit a provocat modificări în utilizarea/acoperirea terenului ([127]; [292]) şi în gestionarea acestuia. Schimbările în modul de utilizare a terenului pot provoca modificări ale sistemului natural de drenaj, afectează scurgerea de suprafaţă şi afectează capacitatea de infiltrare a apei [82].

Gradul de acoperire cu vegetaţie, respectiv gradul de absorbţie a acesteia modifică, de asemenea, rata de evapotranspiraţie, cu implicaţii în circulaţia apei [84].

4. Schimbările climatice

Schimbările climatice joacă un rol crucial în modificarea regimurilor hidrologice, ceea ce contribuie la creşterea frecvenţei şi intensităţii inundaţiilor.

BUPT

Creşterea temperaturilor globale afectează modelele de precipitaţii, intensificând evenimentele extreme, cum ar fi furtunile şi uraganele, şi modificând ciclurile sezoniere, cum ar fi topirea zăpezilor.

Încălzirea globală este de aşteptat să intensifice ciclul hidrologic, crescând astfel intensitatea evenimentelor extreme de precipitaţii şi riscul de inundaţii [333]. Multe studii au furnizat dovezi mai puternice ale unei creşteri a intensităţii extreme a precipitaţiilor la scară globală ([361]; [39]). Temperatura atmosferică influenţează semnificativ intensitatea extremă a precipitaţiilor, deoarece aerul mai cald reţine mai multă apă decât aerul mai rece, contribuind potenţial cu mai multă umiditate la evenimentele de precipitaţii ([344]; [361]). În plus, se preconizează că precipitaţiile extreme se vor intensifica din cauza încălzirii globale în multe părţi ale lumii. Această creştere este legată de concentraţia mai mare de vapori de apă atmosferici, care serveşte drept sursă de precipitaţii. Creşterea concentraţiei are loc proporţional cu nivelurile de saturaţie, crescând cu o rată de aproximativ 6-7% pe grad de creştere a temperaturii. Această relaţie se aliniază cu relaţia termodinamică Clausius-Clapeyron [333].

Creşterea intensităţii precipitaţiilor extreme din cauza schimbărilor climatice este o preocupare semnificativă a societăţii, deoarece inundaţiile induse de precipitaţii sunt printre cele mai costisitoare şi periculoase hazarde naturale la nivel global ([7]; [174]; [361]). Înţelegerea schimbărilor în fenomenele meteorologice extreme este crucială pentru gestionarea şi atenuarea eficientă a dezastrelor [39].

5. Eroziunea solului şi acumularea sedimentelor

Eroziunea solului şi acumularea de sedimente în albiile râurilor reprezintă un alt factor care contribuie la creşterea riscului de inundaţii. Eroziunea poate reduce capacitatea bazinelor de recepţie şi poate duce la acumularea sedimentelor în râuri, reducând capacitatea acestora de a transporta apă. Acest lucru poate provoca revărsarea râurilor şi inundaţii pe scară largă [250].

În plus, acumularea sedimentelor în albiile râurilor poate duce la formarea de baraje naturale, care, atunci când cedează, pot provoca inundaţii catastrofale.

Inundaţiile sunt rezultatul unei combinaţii complexe de factori naturali şi antropici, care variază de la precipitaţiile extreme şi topirea zăpezilor, până la schimbările climatice şi modificările în utilizarea terenurilor. Înţelegerea acestor mecanisme este esenţială pentru dezvoltarea strategiilor eficiente de gestionare a riscurilor şi pentru reducerea impactului asupra societăţii şi mediului.

Inundaţiile pot fi clasificate în mai multe tipuri, în funcţie de cauzele şi caracteristicile lor specifice:

- inundaţii pluviale (Flash Floods); acestea apar brusc şi sunt cauzate de precipitaţii intense pe o perioadă scurtă de timp. Sunt frecvente în zonele montane sau urbane, unde capacitatea de infiltrare a apei este redusă. Inundaţiile pluviale sunt deosebit de periculoase din cauza vitezei lor şi a lipsei de timp pentru evacuare;
- inundaţii fluviale (River Floods); acestea sunt cauzate de creşterea nivelului apei în râuri, ca urmare a precipitaţiilor abundente, topirii zăpezilor sau cedării barajelor. Inundaţiile fluviale pot afecta zone întinse şi durează, de obicei, mai mult timp decât inundaţiile pluviale;
- inundaţii costiere (Coastal Floods); aceste inundaţii apar în zonele de coastă şi sunt cauzate de maree înalte, furtuni (ciclonice sau tropicale) sau tsunami-uri. Creşterea nivelului mării datorată schimbărilor climatice a crescut frecvenţa şi severitatea acestor tipuri de inundaţii;
- inundaţii urbane, acestea sunt specifice zonelor urbane şi sunt cauzate de incapacitatea sistemelor de canalizare de a gestiona volumul mare de apă rezultat în

BUPT

urma ploilor torenţiale. Urbanizarea intensivă, cu crearea de suprafeţe impermeabile, contribuie semnificativ la acest tip de inundaţie;

- inundaţii de baraj (Dam-Break Floods), aceste inundaţii apar în urma cedării unui baraj, fie din cauza defectării structurale, fie din cauza supraîncărcării cu apă. Ele sunt extrem de periculoase din cauza volumului mare de apă eliberat într-un timp foarte scurt;

- inundaţii datorate topirii gheţarilor (Glacial Lake Outburst Floods - GLOFs); aceste inundaţii se produc atunci când lacurile glaciale, formate prin topirea gheţarilor, cedează şi eliberează cantităţi mari de apă. Acestea sunt frecvente în regiunile alpine şi pot avea efecte devastatoare asupra comunităţilor din aval.

Fiecare tip de inundaţie are caracteristici specifice şi implică riscuri diferite şi implicaţii majore asupra componentelor mediului înconjurător.

2.2. Analiza globală a inundaţiilor

Inundaţiile reprezintă unul dintre cele mai devastatoare tipuri de dezastre naturale, afectând anual milioane de oameni şi provocând pagube economice semnificative. În ultimul deceniu, schimbările climatice şi creşterea urbanizării au amplificat frecvenţa şi intensitatea inundaţiilor la nivel global. Această analiză se concentrează pe distribuţia geografică a inundaţiilor majore din ultimul deceniu şi oferă exemple de inundaţii recente cu impact global semnificativ.

2.2.1. Distribuţia geografică a inundaţiilor majore

În ultimul deceniu, inundaţiile au afectat diverse regiuni ale lumii, însă distribuţia şi frecvenţa acestora au variat considerabil în funcţie de factori geografici, climatologici şi antropici. Zonele cele mai afectate de inundaţiile majore au fost Asia de sud şi sud-est, Africa sub-sahariană, Europa centrală şi de est, America de Nord şi America de Sud.

Asia de sud şi sud-est este una dintre regiunile lumii cele mai vulnerabile la inundaţii, datorită musonilor sezonieri şi ciclurilor tropicale frecvente. Ţări precum India, Bangladesh, Nepal şi Thailanda au fost afectate de inundaţii masive în repetate rânduri în ultimii ani. Un studiu realizat de Garner şi colab. (2024) [128] a arătat că schimbările climatice au crescut intensitatea ciclonilor, conducând la precipitaţii mai intense şi la inundaţii devastatoare în aceste regiuni.

Africa este unul dintre cele două continente din lume cele mai afectate de inundaţii. Inundaţiile sunt cel mai frecvent dezastru şi rămân o ameninţare, în special în Africa Sub-Saharană ([342]; [286]). Inundaţiile sunt, în multe cazuri, cauzate de precipitaţiile intense asociate cu sistemele meteorologice tropicale şi de gestionarea ineficientă a resurselor de apă.

Europa Centrală şi de Est inundaţiile sunt adesea rezultatul precipitaţiilor intense pe termen scurt, al topirii zăpezilor şi al revărsării râurilor. Evenimente semnificative de inundaţii au avut loc în Germania, Polonia, Cehia şi România în ultimul deceniu. Un studiu elaborat de Blöschl şi colab. (2017) [44] sugerează că, deşi există o variabilitate naturală semnificativă în frecvenţa inundaţiilor, schimbările climatice au amplificat riscul de evenimente extreme, în special în bazinul Dunării şi al Elbei. Momentul schimbător al inundaţiilor a fost studiat la scară locală în ţările nordice şi baltice ([22]; [306]) dar nu există o analiză consistentă la scară europeană.

În cazul Americilor, Statele Unite ale Americii, Canada şi ţările din bazinul Amazonului au fost de asemenea afectate de inundaţii semnificative. În SUA,

BUPT

inundațiile au fost frecvent legate de uragane și de precipitațiile intense în regiunile centrale și sudice. În Brazilia, inundațiile sunt adesea legate de ploi torențiale și de gestionarea inadecvată a bazinelor hidrografice. Studiul lui Mallakpour și Villarini (2015) [210] indică o creștere a frecvenței și intensității inundațiilor în bazinul râului Mississippi datorită schimbărilor climatice.

2.2.2. Exemple de inundații produse recent, cu impact global semnificativ

În vara anului 2022, Pakistanul a experimentat unele dintre cele mai devastatoare inundații din istoria sa recentă. Ploile musonice neobișnuit de intense, combinate cu topirea rapidă a ghețarilor, au dus la inundații care au acoperit o treime din țară, afectând peste 33 de milioane de oameni și provocând moartea a peste 1.700 de persoane. Conform unui studiu realizat de Nanditha şi colab. (2023) [237], evenimentul a fost agravat de schimbările climatice, care au crescut probabilitatea unor precipitații extreme în această regiune.

Uraganul Harvey, care a lovit coasta Texasului în august 2017, a provocat inundații catastrofale, cu ploi record care au depășit 1.200 mm în unele locuri. Aceasta a fost una dintre cele mai costisitoare dezastre naturale din istoria SUA, cu daune estimate la aproximativ 125 de miliarde de dolari. Rezultatul a fost cel mai mare dezastru natural la care s-a văzut națiunea de la uraganul Katrina din 2005, ucigând cel puțin 70 de oameni, strămutând multe mii și provocând pagube care se estimează că vor depăși 150 de miliarde de dolari. Studiul realizat de Emanuel (2017) [106] a demonstrat că încălzirea globală a crescut semnificativ capacitatea atmosferică de a reține umiditatea, ceea ce a condus la precipitațiile intense observate în timpul uraganului Harvey.

În iulie 2021, mai multe țări din Europa Centrală, inclusiv Germania, Belgia, și Olanda, au fost afectate de inundații severe cauzate de precipitațiile extreme într-un interval scurt de timp. Aceste inundații au provocat moartea a peste 200 de persoane și au distrus mii de locuințe și infrastructuri [161]. Conform unui studiu din 2021, elaborat de Ioniţa şi Nagavciuc [162], zonele cu risc ridicat de inundații nu sunt răspândite uniform în Europa. De-a lungul ultimelor decenii, Europa a fost afectată de un număr mare de inundații coroborate cu precipitații abundente.

În Europa, inundațiile rapide, revărsările râurilor și lacurilor, inundațiile din sezonul rece și inundațiile de coastă sunt printre cele mai frecvente ([130]; [179]; [69]). Cele mai grave inundații din Europa, din ultimii 100 de ani, în funcţie de proporţia acetora sunt prezentate în Figura 2.1.

Furtuna din anul 1953, cunoscută sub numele de „Marea inundație din 1953”, a afectat Țările de Jos, Belgia, Anglia și Scoția şi a provocat decesul a 2011 persoane. A fost unul dintre cele mai devastatoare evenimente naturale din secolul XX în Europa, ducând la pierderea a mii de vieți și forțând construirea unor noi structuri de protecție împotriva inundațiilor.

Inundația de pe Dunăre, din România, din 1970, a provocat peste 1000 decese. La această inundație, Dunărea a atins niveluri record, provocând inundații severe în România și alte țări din bazinul Dunării. A fost una dintre cele mai grave inundații din istoria României, cu mii de case distruse și un impact semnificativ asupra economiei locale.

BUPT



Figura 2.1. Inundaţii devastatoare din ultimii 100 ani, din Europa [368]

Inundaţiile rapide din Spania, din anii 1962 şi 1973, au fost provocate de ploi torențiale, afectând în principal zona Levantului și a insulelor Baleare. Au fost evenimente devastatoare, care au surprins multe comunități locale şi au provocat pierderi de vieţi omeneşti.

Inundațiile pe râurile din Portugalia (1967) au fost cauzate de ploile torențiale, în special în regiunea Lisabona, provocând peste 462 decese.

Furtuna din Germania (Marea Nordului), din 1962, a afectat coasta de nord a Germaniei, provocând inundații în Hamburg și în alte orașe de coastă. Acest eveniment a dus la pierderi masive de vieți omenești și a subliniat nevoia de îmbunătățire a sistemelor de protecție împotriva inundațiilor.

Inundaţia rapidă din Italia (1985) a afectat regiunea Valtellina în nordul Italiei, cauzând alunecări de teren și distrugând numeroase așezări montane.

Inundaţia din Ungaria, de pe râul Tisa, a provocat, în anul 1970, peste 312, fiind una dintre cele mai severe din istoria Ungariei, afectând și distrugând numeroase așezări rurale.

2.3. Riscurile de inundații în România

Inundațiile reprezintă una dintre cele mai frecvente și devastatoare tipuri de dezastre naturale din România, având un impact semnificativ asupra comunităților și economiei naționale. Datorită geografiei variate a României, riscurile de inundații sunt influențate de o serie de factori, inclusiv topografia, clima și utilizarea terenurilor. Această analiză detaliază regiunile vulnerabile din România, oferă un istoric al inundațiilor majore și discută măsurile luate de autoritățile române pentru reducerea riscurilor asociate inundațiilor.

BUPT

2.3.1. Analiza regiunilor vulnerabile din România (bazinele râurilor mari)

În România, cele mai puternice și catastrofale inundații sunt cauzate de ploile abundente. Mai mult, apariția ploilor în zonele muntoase are ca rezultat adesea un debit de apă mai mare de 100 – 200 mm/24 de ore, depășind capacitatea de absorbție a solului și capacitatea de transport a râurilor [296].

În România, precipitațiile sunt mai scăzute decât în vestul Europei şi sunt distribuite inegal în timp și spațiu Volumul de precipitaţii sunt concentrate în una sau două luni, în timp ce în restul anului se înregistrează săptămâni sau luni fără precipitații, ducând la inundații urmate de privarea de apă a solului și eroziune și deșertificare în continuare [78].

Impactul unor astfel de fenomene extreme este uneori atât de sever încât producția agricolă este compromisă, casele sunt distruse (și oamenii trebuie să le părăsească din cauza inundațiilor) sau drumurile sunt închise de zăpadă abundentă sau distruse de inundații ([78]; [274]).

România este traversată de mai multe râuri majore (Dunărea, Mureș, Olt, Siret, Prut, Tisa), fiecare dintre acestea având un bazin hidrografic extins (Figura 2.2), care prezintă un risc semnificativ de inundații. Aceste bazine sunt adesea afectate de inundații din cauza topografiei montane care poate amplifica volumul de apă și a precipitațiilor intense din timpul primăverii sau de la începutul verii.



Bazinul hidrografic	Suprafata in kmp	% din suprafata Romaniei
Siret	42980	18,029
Mures	28092	11,784
Olt	24272	10,182
Somes	15660	6,569
Crisuri	15426	6,471
Arges	12519	5,252
Prut	10836	4,545
Ialomita	10723	4,498
Jiu	10308	4,324

Figura 2.2. Bazine hidrografice pe teritoriul României ([80]; [105])

Bazinul Dunării este unul dintre cele mai importante bazine hidrografice din Europa. În România, Dunărea prezintă riscuri majore de inundații în județele Tulcea, Galați, Brăila, Ialomița și Călărași, unde terenurile joase sunt susceptibile la inundații în perioadele de topire a zăpezii și precipitații intense.

Bazinul Siretului este unul dintre bazinele cele mai vulnerabile la inundații. Acestea afectează județele Neamț, Bacău, Vrancea și Galați. Râul Siret și afluenții săi au un debit variabil care, în combinație cu ploi torențiale, poate duce la inundații severe. În special, în anii 2005 și 2010, inundațiile în acest bazin au dus la pierderi semnificative de vieți omenești și pagube materiale [295].

Bazinul Prutului, situat în nord-estul României, este o altă zonă cu risc ridicat de inundații, în special în județele Botoșani și Iași. Inundațiile din bazinul Prutului sunt adesea cauzate de precipitații intense și topirea zăpezilor din Carpații Orientali.

BUPT

Bazinul Oltului, localizat în centrul României, acoperă județele Harghita, Covasna, Brașov și Olt. Datorită topografiei montane și pădurilor defrișate, inundațiile pot apărea rapid, cauzând alunecări de teren și pagube semnificative infrastructurii locale.

2.3.2. Istoric al inundațiilor majore din România și impactul acestora asupra comunităților și economiei

Conform datelor de la instituţiile de profil şi a celor din literatura de specialitate ([295]; [78]; [296]; [274]), de-a lungul timpului, România s-a confruntat cu mai multe evenimente devastatoare, din categoria inundaţiilor.

În anul 1926, Inundațiile au afectat în special bazinul râului Mureș, dar și alte regiuni ale țării. Aceste inundații au fost cauzate de ploile torențiale și topirea rapidă a zăpezilor, ceea ce a dus la creșterea bruscă a nivelului apei. În acea perioadă, infrastructura de protecție împotriva inundațiilor era slab dezvoltată, iar pagubele au fost semnificative, afectând atât locuințele cât și terenurile agricole.

Un alt episod important a avut loc în 1932, când mai multe râuri din Transilvania și Moldova au provocat daune materiale extinse și pierderi de vieți omenești. Această inundație a subliniat din nou vulnerabilitatea infrastructurii de protecție la fenomenele hidrogeomorfologice.

Inundațiile din 1940 au afectat puternic zona de sud a României. Creșterea bruscă a debitului Dunării a dus la inundații pe scară largă, afectând zeci de localități din Oltenia și Muntenia. Râul a inundat o mare parte din zonele joase, ceea ce a dus la pierderi semnificative în agricultură și la evacuarea a mii de persoane.

Unul dintre cele mai devastatoare evenimente de inundație din istoria modernă a României a avut loc în anul 1970. Aceasta a fost o inundație catastrofală care a afectat în special bazinul Dunării și bazinele râurilor Mureș și Someș. Inundațiile din 1970 au fost cauzate de o combinație de precipitații extreme și topirea rapidă a zăpezilor, ceea ce a dus la creșterea nivelului apei și la revărsarea râurilor. Impactul economic a fost sever, cu mii de locuințe distruse și sute de mii de hectare de teren agricol afectate [250].

În 1975, România s-a confruntat din nou cu inundații severe, de această dată afectând în special regiunile din Moldova și sud-estul țării. Peste 100 de localități au fost inundate.

Cu efecte semnificative, pagube materiale şi pierderi de vieţi omeneşti, au fost şi inundaţiile produse în bazinul Dunării, în anul 1991

Inundațiile din 2005 au fost unele dintre cele mai devastatoare din istoria recentă a României. Acestea au afectat în principal Moldova, dar și alte regiuni ale țării, inclusiv Banatul. Aceste evenimente au fost urmate de inundațiile din 2010, care au afectat, în special regiunile din nord-est, inclusiv bazinele Siretului și Prutului. Peste 25.000 de case au fost afectate, și mii de oameni au fost evacuați. Impactul economic a fost din nou semnificativ.

Inundațiile din 2014 au fost provocate de ploi torențiale care au afectat în principal Oltenia și sudul țării. Sistemele de protecție împotriva inundațiilor, deși îmbunătățite față de anii precedenți, au fost insuficiente pentru a face față cantităților mari de apă. Mii de hectare de teren agricol au fost inundate, și mai multe localități au fost evacuate.

BUPT

2.3.3. Măsuri luate de autoritățile române pentru reducerea riscurilor (sisteme de alertă, investiții în infrastructura de protecție)

Pentru a aborda riscurile asociate inundațiilor și pentru a minimiza impactul acestora asupra comunităților și economiei, autoritățile române au implementat o serie de măsuri preventive și reactive de-a lungul anilor (conform datelor de la instituţiile de profil şi a celor din literatura de specialitate: [295]; [78]; [296]; [274]). Aceste măsuri se concentrează pe trei arii principale:

1. Dezvoltarea și implementarea sistemelor de alertă timpurie;
2. Investițiile în infrastructura de protecție;
3. Managementul integrat al riscurilor de inundații.

1. Sistemele de alertă timpurie sunt esențiale pentru a asigura o reacție rapidă și eficientă în cazul inundațiilor iminente. În ultimii ani, România a făcut progrese semnificative în dezvoltarea și implementarea acestor sisteme [250]:

- monitorizarea hidrologică și meteorologică; Administrația Națională „Apele Române" (ANAR) și Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (INHGA) utilizează o rețea extinsă de stații hidrometrice și meteorologice pentru monitorizarea continuă a nivelurilor râurilor și a condițiilor meteorologice. Aceste date sunt colectate în timp real și sunt utilizate pentru a emite avertizări privind riscurile de inundații. Sistemele integrate folosesc tehnologii avansate precum senzori de debit, radaruri meteo și imagini satelitare pentru a detecta rapid orice creștere bruscă a nivelului apei;
- platforme digitale și comunicații rapide; autoritățile române au implementat platforme digitale care permit transmiterea rapidă a alertelor de inundații către autoritățile locale, mass-media și populație. Aceste platforme sunt integrate cu aplicații de telefonie mobilă și sisteme de mesaj text pentru a asigura că alertele ajung la toți cetățenii, în special în zonele vulnerabile;
- educație și conștientizare publică; campaniile de conștientizare publică sunt esențiale pentru a educa cetățenii cu privire la riscurile de inundații și măsurile de protecție personală. Autoritățile locale și naționale au lansat programe educative care includ exerciții de simulare a inundațiilor și distribuirea de materiale informative despre cum să acționeze în caz de urgență.

2. Investiții în infrastructura de protecție împotriva inundaţiilor

Pentru a proteja comunitățile și a reduce riscurile de inundații, România a investit considerabil în infrastructura de protecție:

- construirea și reabilitarea digurilor și a barajelor; după inundațiile majore, devastatoare, din 2005 și 2010, România a inițiat un program național de consolidare și reabilitare a digurilor și barajelor existente. Aceste structuri sunt esențiale pentru controlul fluxurilor de apă și pentru prevenirea revărsării râurilor în zonele locuite. În plus, s-au construit noi baraje în puncte strategice pentru a controla debitul râurilor și a preveni inundațiile;
- canale de desecare/drenaj și stații de pompare; investițiile au fost, de asemenea, direcționate către dezvoltarea și întreținerea canalelor de desecare/drenaj și a stațiilor de pompare, care ajută la evacuarea rapidă a apei din zonele inundate. Aceste sisteme sunt vitale în special în zonele joase și în orașele mari, unde acumulările rapide de apă pot provoca inundații urbane;
- renaturarea luncilor inundabile; ca parte a unei strategii mai largi de management integrat al apelor, România a investit în proiecte de renaturare a luncilor inundabile. Aceste proiecte permit râurilor să se reverse în mod controlat în zonele

BUPT

naturale, reducând astfel presiunea asupra digurilor şi prevenind inundaţiile severe. Renaturarea ajută şi la conservarea biodiversităţii şi la îmbunătăţirea calităţii apei.

3. Managementul integrat al riscurilor de inundaţii

România a adoptat o abordare integrată în managementul riscurilor de inundaţii, care combină măsuri structurale şi non-structurale pentru a reduce vulnerabilitatea şi a îmbunătăţi capacitatea de răspuns:

- planuri de management al riscurilor de inundaţii; conform Directivei UE privind Inundaţiile, România a dezvoltat Planuri de Management al Riscurilor de Inundaţii (PMRI) [230] pentru toate bazinele hidrografice majore. Aceste planuri includ hărţi de hazard şi de risc, scenarii de inundaţii şi măsuri specifice de prevenire şi protecţie. Planurile sunt actualizate periodic şi sunt bazate pe cele mai recente date şi prognoze hidrologice;
- cooperare internaţională; având în vedere că multe râuri importante din România, inclusiv Dunărea, traversează mai multe ţări, România colaborează activ cu alte state din bazinul Dunării pentru a dezvolta strategii transfrontaliere de gestionare a inundaţiilor. Aceasta include schimbul de date, planificarea comună a infrastructurii şi exerciţiile de simulare a inundaţiilor;
- politici publice şi reforme legislative; autorităţile române au implementat reforme legislative pentru a îmbunătăţi cadrul de reglementare în domeniul managementului apelor şi al protecţiei împotriva inundaţiilor, disponibile pe site-ul ANAR [3]. Aceste reforme au fost susţinute de fonduri europene şi de alte mecanisme de finanţare internaţionale, permiţând astfel implementarea unor proiecte majore de infrastructură şi consolidarea capacităţilor instituţionale.

Măsurile adoptate de autorităţile române pentru reducerea riscurilor de inundaţii au contribuit semnificativ la protecţia comunităţilor şi a economiei naţionale. Totuşi, schimbările climatice şi creşterea urbanizării necesită o adaptare continuă a acestor măsuri şi investiţii suplimentare în infrastructura de protecţie şi sisteme de alertă. Prin abordarea integrată a managementului riscurilor şi cooperarea internaţională, România continuă să îmbunătăţească capacitatea de a preveni şi gestiona inundaţiile.

2.4. Lucrări hidrotehnice şi de îmbunătăţiri funciare pentru prevenirea şi combaterea efectelor inundaţiilor

Lucrările hidrotehnice şi de îmbunătăţiri funciare pentru prevenirea şi combaterea efectelor inundaţiilor sunt esenţiale pentru protejarea comunităţilor şi infrastructurii împotriva inundaţiilor. Aceste lucrări includ o varietate de măsuri tehnice şi intervenţii care contribuie la gestionarea resurselor de apă şi la reducerea riscului de inundaţii ([207]; [268]; [212]; [213]).

1. Baraje şi acumulări de apă

Barajele şi lacurile de acumulare sunt structuri mari, construite pe râuri pentru a reţine apa şi a controla debitul acesteia. Ele ajută la reducerea vârfurilor de viitură şi la stocarea apei pentru perioadele de secetă. Barajele pot fi folosite şi pentru producerea de energie hidroelectrică, precum şi pentru alte scopuri, cum ar fi irigaţiile şi aprovizionarea cu apă potabilă [276].

Printre cele mai importante baraje din România, pot fi menţionate Barajul Vidraru şi Barajul Bicaz (Figura 2.3).

BUPT



Figura 2.3. Barajul Vidraru (stânga [143]) şi Barajul Bicaz (dreapta [353])

Barajul și hidrocentrala Vidraru, construcții de importanță strategică pentru sistemul energetic românesc, au fost finalizate în 1966, după cinci ani și jumătate de lucrări începute în 1960. La momentul inaugurării, barajul Vidraru era al cincilea ca mărime în Europa și al nouălea în lume. Proiectul cuprinde un baraj de beton în dublu arc, cu înălțimea de 166,6 metri și o lungime a coronamentului de 307 m, o centrală subterană, galerii subterane pentru captarea apelor și un lac de acumulare de 465 milioane m^3, din care 320 milioane reprezintă volumul util [143].

Principalul rol al barajului Vidraru este prolroducerea de energie electrică, la care se adaugă controlul inundațiilor şi asigurarea rezervelor de apă pentru irigații.

Barajul Bicaz (Izvorul Muntelui) are o capacitate de acumulare de 1,23 miliarde m^3, protejând astfel zona de aval de inundații și furnizând apă pentru consum și irigații pe o suprafață vastă.

Lacul de acumulare Bicaz, este cel mai mare lac artificial din România, situat pe râul Bistrița. Barajul Bicaz, care leagă Muntele Gicovanu de Obcina Horștei, are o înălțime de 127 m. Este folosit pentru producerea de energie electrică. Barajul, finalizat în 1960, este al treilea ca înălțime din România și al nouălea din Europa.

2. Diguri şi îndiguiri

Digurile sunt structuri longitudinale construite de-a lungul malurilor râurilor sau coastelor pentru a împiedica apa să inunde terenurile adiacente. Îndiguirile sunt esențiale pentru protecția zonelor agricole și a așezărilor umane situate în apropierea cursurilor de apă. Aceste diguri protejează o suprafață de peste 2,4 milioane ha de terenuri agricole și zone locuite [160].

3. Canale de derivaţie şi regularizări de râuri

Canalele de derivaţie sunt canale artificiale construite pentru a devia o parte din debitul unui râu sau al unui pârâu, reducând presiunea asupra albiei naturale și diminuând riscul de inundații în zonele joase.

Regularizarea cursurilor de apă implică modificarea albiei naturale a râurilor pentru a îmbunătăți capacitatea de scurgere și a reduce riscul de inundații. Aceasta poate include adâncirea, lărgirea sau îndreptarea cursurilor de apă. De exemplu, regularizarea râului Bega a redus semnificativ riscul de inundații în Timișoara.

România are peste 3.200 de km de canale de derivare şi regularizare a râurilor [160]. Prin aceste lucrări sunt protejate de inundații circa 1,1 milioane de hectare de terenuri agricole şi suprafețe locuite.

Un exemplu din această categorie de lucrări este Canalul colector Timiș - Bega care contribuie la protecția unei suprafețe de aproximativ 150.000 de hectare în Banat.

BUPT

4. Stăvilare și ecluze

Acestea sunt structuri de control construite în albia râurilor pentru a gestiona fluxul de apă și nivelul acestuia. Stăvilarele pot fi ajustate pentru a permite trecerea controlată a apei, prevenind inundaţiile

Sistemul naţional de gospodărire a apelor include şi componenta de apărare împotriva inundaţiilor constă în peste 1500 baraje cu efect de atenuare, cu o capacitate de 3.7 miliarde m³, peste 10.000 km de diguri şi peste 15.700 km de lucrări pe cursuri de apă.

Administrația Națională "Apele Române" (ANAR) gestionează: 295,6 mii hectare de terenuri acoperite de ape, 78.905 km de cursuri de apă, 270 de lacuri de acumulare cu un volum total de 14,5 miliarde m³, dintre care 114 sunt lacuri cu acumulare nepermanentă. De asemenea, ANAR administrează 7100 km de diguri pentru protecția localităților și a terenurilor agricole, 6600 km de regularizări de râuri, 1320 km de lucrări de apărare și consolidare a malurilor, 157 canale de aducțiune cu o lungime totală de 1100 km, 59 stații de pompare a apei cu un debit instalat de 237 m³/s, 49 prize de apă și noduri hidrotehnice cu un debit total instalat de 249 m³/s, 178 alte lucrări hidrotehnice și 122 lacuri naturale [4].

5. Lucrări de desecare și drenaj

Canalele de desecare și drenaj (șanţuri, canale deschise și sisteme de drenaj subteran) sunt utilizate pentru a elimina excesul de apă de pe terenurile agricole prevenind stagnarea apei, care poate conduce la degradarea solului și la afectarea culturilor agricole. Acestea sunt deosebit de importante în zonele joase, unde apa se poate acumula ușor ([212]; [50]).

Lucrările de desecare și drenaj din România se pot clasifica în două categorii principale:

Sisteme de desecare, sunt lucrări realizate pentru eliminarea apei de suprafață din zonele joase și mlăștinoase, care nu sunt adecvate pentru agricultură în absența unei astfel de intervenții. Sistemele de desecare includ canale principale și secundare, stații de pompare, precum și diguri și alte structuri care împiedică infiltrarea apei [268].

Sisteme de drenaj, lucrări care au ca scop evacuarea apei din solurile cu un nivel ridicat al apei freatice sau din zonele în care apa se acumulează în exces după ploi. Sistemele de drenaj pot fi de două tipuri:

- drenaj superficial: include canale de scurgere care colectează apa de pe suprafața solului și o dirijează către puncte de evacuare.
- drenaj subteran: implică instalarea de conducte perforate subterane (drene) care colectează excesul de apă din sol și îl transportă către canale de evacuare sau alte structuri de drenaj.

Conform datelor furnizate de Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale, România dispune de o suprafață considerabilă amenajată pentru desecare și drenaj, concentrată în principal în zonele agricole intensive și în luncile marilor râuri. Suprafața totală amenajată pentru desecare și drenaj este de aproximativ 3 milioane de hectare. Această suprafață include atât terenuri agricole, cât și alte tipuri de utilizări ale terenurilor, care beneficiază de pe urma sistemelor de drenaj și desecare.

Câmpia Română este una dintre cele mai extinse zone amenajate cu lucrări de desecare și drenaj. Sistemele de drenaj din această regiune au fost dezvoltate pentru a permite exploatarea agricolă intensivă și pentru a controla nivelul apei freatice, care poate afecta culturile.

Câmpia de Vest este cunoscută pentru rețelele complexe de canale de desecare și drenaj care au fost construite pentru a controla apele de suprafață și

BUPT

pentru a preveni inundațiile. Lucrările de drenaj subteran sunt deosebit de importante în această zonă, unde nivelul ridicat al apei freatice poate duce la gleizarea solului.

6. Polderizarea se referă la crearea de suprafețe de teren protejate prin diguri, care pot fi inundate controlat pentru a prelua surplusul de apă în timpul viiturilor. Aceasta este o tehnică folosită frecvent în Olanda și poate fi aplicată și în zonele de câmpie din România pentru a reduce impactul inundațiilor.

7. Împădurirea și amenajarea bazinelor hidrografice sunt măsuri de îmbunătățiri funciare care contribuie la reducerea eroziunii solului și la creșterea capacității solului de a absorbi apa. Aceasta ajută la reducerea debitului de apă care ajunge rapid în râuri în timpul ploilor torențiale, diminuând astfel riscul de inundații.

2.5. Tehnici şi metode geomatice de analiză şi predicţie a inundaţiilor

În literatura de specialitate sunt descrise şi experimentate diferite metode de evaluare a riscului de inundaţii: metoda dezastrelor istorice (the historical disaster method) [86], metoda simulării scenariilor (the scenario simulation method) [362], metoda sistemelor de indici (the index system method) [145], dar şi diferite metode bazate pe GIS şi teledetecţie ([149]; [196]; [57]; [272]; [58]; [89]; [148]; [331]), tehnologii geomatice cu un impact major în hidrologie, în diferite segmente, implicit pentru evaluarea riscurilor hidrologice ([92]; [330]; [16]; [168]; [267]; [288]; [321]).

1. GIS în analiza şi predicţia inundaţiilor

Sistemele Informatice Geografice (Geographic Information Systems - GIS) se constituie ca un instrument esențial pentru colectarea, stocarea, analiza și vizualizarea datelor spațiale și non-spațiale, fiind folosit pe scară largă în analiza inundațiilor. Utilizarea GIS în gestionarea inundațiilor implică mai multe etape, inclusiv identificarea zonelor vulnerabile, modelarea riscurilor și predicția inundațiilor.

În mediul GIS pot fi realizate:

a. cartografierea zonelor inundabile, prin crearea de hărți detaliate ale zonelor cu risc de inundație, folosind date topografice, hidrologice și meteorologice. Modelele digitale de elevație (DEM) sunt folosite pentru a determina pantele terenului și a identifica potențialele zone de acumulare a apei ([297]; [337]; [283]; [358]).

b. modelarea hidraulică și hidrologică, în programe specializate, integrate în platformele GIS, ajută la simularea comportamentului râurilor și al bazinelor hidrografice în condiții diferite de precipitații și deversare. Aceste modele pot fi utilizate pentru a prezice extinderea și adâncimea inundațiilor în diferite scenarii ([83]; [378]). În modelarea hidraulică a inundaţiilor pot fi luaţi în considerare diferiţi parametrii precum panta terenului, utilizarea terenului, forma bazinului hidrografic, versantul albiei sau proximitatea zonelor locuite ([274]; [275]).

c. Analiza Multicriterială (MCDA) este o metodă utilizată în GIS pentru a evalua riscul de inundații prin combinarea mai multor criterii (factori), cum ar fi utilizarea terenului, densitatea populației și infrastructura, caracteristicile topografice şi climatice, distanţa faţă de râuri, etc.

MCDA sprijină luarea deciziilor atunci când sunt implicate mai multe criterii combinate şi facilitează integrarea științifică a analizelor cantitative și calitative ([320]; [2]). MCDA este utilizată în diverse aplicații pentru gestionarea dezastrelor

BUPT

naturale, cum ar fi estimarea indicelui de rezilienţă [173], evaluarea pericolelor de inundaţii [169], estimarea indicelui de risc [372] şi dezvoltarea politicilor ([180]; [304]).

Există numeroase programe software utilizate pentru modelarea hidraulică, fiecare având specificaţii pentru anumite aplicaţii [250]:

a. EPANET este un program gratuit dezvoltat de EPA (Environmental Protection Agency) din SUA şi este utilizat pentru modelarea sistemelor de distribuţie a apei potabile şi integrează analiza calităţii apei. Are ca aplicaţii simularea fluxul de apă prin conducte, presiunea în noduri, concentraţia substanţelor chimice şi comportamentul rezervoarelor şi pompelor.

b. SWMM (Storm Water Management Model) este dezvoltat tot de EPA şi este utilizat pentru modelarea sistemelor de canalizare şi drenaj urban. Simulează atât fluxuri de suprafaţă, cât şi fluxuri subterane şi analizează procese precum infiltraţia, evaporaţia şi scurgerile. Are ca aplicaţii: modelarea debitului de ape pluviale, canalizarea mixtă şi gestionarea scurgerilor apelor pluviale.

c. MIKE este o suită de software dezvoltată de DHI, care include diverse module pentru modelarea hidraulică, hidrologică şi ecologică. Integrează modelarea hidrologică şi hidraulică 1D şi 2D şi permite simularea interacţiunilor între fluxuri de suprafaţă şi subterane. Are ca aplicaţii: MIKE URBAN pentru canalizare şi distribuţia apei, MIKE 11 pentru râuri, MIKE 21 şi MIKE FLOOD pentru inundaţii.

d. HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) este un program dezvoltat de US Army Corps of Engineers pentru modelarea fluxurilor de apă în râuri şi canale. Suportă atât fluxuri subcritice, cât şi fluxuri supercritice şi include analiza de sediment şi transport de poluanţi. Are ca aplicaţii: modelarea fluxurilor unidimensionale şi bidimensionale în râuri, inundaţiilor şi eroziunii.

În cadrul prezentei lucrări, am utilizat HEC-RAS pentru modelarea hidraulică. HEC-RAS este o alegere optimă datorită versatilităţii sale, a capacităţilor de modelare atât 1D cât şi 2D, integrării cu datele geospaţiale şi a funcţionalităţilor extinse pentru analiza inundaţiilor şi a structurilor hidraulice. Fiind Open Source, cu o bază solidă de utilizatori şi un suport tehnic extins, HEC-RAS mi-a oferit o soluţie completă şi fiabilă pentru modelarea hidraulică studiului de caz selectat.

Dintre software-urile GIS în care poate fi realizată analiza fenomenelor de risc hidrogeomorfologic, pot fi menţionate:

a. QGIS (Quantum GIS) este un software GIS Open Source, care oferă funcţii puternice pentru analiza şi vizualizarea datelor geospaţiale, inclusiv pentru modelarea inundaţiilor. Acesta oferă posibilitatea de a gestiona date DEM şi de a crea hărţi detaliate ale zonelor inundabile, dar şi suport pentru extensii Open Source care ajută la integrarea datelor de inundaţii şi hidrologie.

QGIS este compatibil cu extensii precum FLO-2D, un plugin specific pentru modelarea inundaţiilor şi cu alte programe de modelare hidraulică.

b. SMS (Surface-water Modeling System) este un software dezvoltat de Aquaveo care permite modelarea hidraulică şi hidrologică a apelor de suprafaţă şi include funcţii avansate pentru simularea inundaţiilor. Oferă suport pentru modelare 1D şi 2D şi posibilitatea de a crea hărţi de risc şi de a simula interacţiunile dintre fluxurile de apă şi teren.

SMS are ca aplicaţii: modelarea fluxurilor şi inundaţiilor, vizualizarea zonelor inundabile şi analiza riscurilor de inundaţie. Permite integrarea datelor topografice şi hidrologice într-un cadru GIS.

c. ArcGIS, dezvoltat de Esri, este una dintre cele mai populare platforme GIS şi include un set de instrumente pentru analiza şi modelarea inundaţiilor. Acest software a fost utilizat şi în cadrul cercetărilor din prezenta lucrare.

BUPT

ArcGIS Desktop include extensii precum Spatial Analyst și 3D Analyst pentru analiza terenului şi oferă suport pentru integrarea cu date DEM (Digital Elevation Model) pentru modelarea scurgerilor de apă.

ArcGIS permite generarea uor analize spaţiale complexe şi asigură integrarea datelor topografice, hidraulice și hidrologice pentru a crea hărți ale riscurilor de inundații. ArcGIS poate fi utilizat împreună cu alte programe de modelare hidraulică, precum HEC-RAS, pentru a vizualiza rezultatele simulărilor.

2. Teledetecția în monitorizarea și predicția inundațiilor

Teledetecția implică utilizarea sateliților și a aeronavelor pentru a colecta date despre suprafața Pământului, oferind informații cruciale pentru analiza și predicția inundațiilor. Imaginile satelitare și datele radar pot furniza informații în timp real despre extinderea inundațiilor și dinamica acestora.

Un segment deosebit de important în investigarea componentelor mediului dar şi pentru furnizarea unor date cu rezoluţii spaţiale foarte mari, sunt datele geospaţiale generate cu sisteme LiDAR şi UAS [154]. Pe baza acestor seturi de date pot fi generate evaluări cu precizie ridicată a fenomenelor hidrologice de risc, prognoze sau alte analize spaţiale implicate direct şi/sau indirect în hidrologie şi amenajarea teritoriului ([110]; [163]; [15]; [132]; [198]).

Prin mijloace şi metode de teledetecţie pot fi realizate:

- monitorizarea extinderii inundațiilor, respectiv detectarea rapidă și precisă a zonelor inundate. Imaginile radar, cum ar fi cele de la satelitul Sentinel-1, sunt deosebit de utile pentru monitorizarea inundațiilor, deoarece pot penetra nori și pot furniza date în orice condiții meteorologice [310];
- detectarea schimbărilor și analiza temporală în extinderea inundațiilor. Această analiză temporală permite identificarea tiparelor de inundații și a tendințelor pe termen lung, contribuind la o mai bună înțelegere și predicție a viitoarelor evenimente de inundație [31].

Datele istorice sunt utile pentru gestionarea zonelor inundabile, evaluarea asigurării împotriva inundațiilor, planificarea situațiilor de urgență și gestionarea riscului de inundații. O căutare atentă a datelor și aranjarea adecvată a acestora poate avea ca rezultat un instrument puternic pentru prevenirea dezastrelor de inundații și planificarea utilizării terenurilor ([304]; [291]).

Integrarea datelor din surse multiple, cum ar fi imaginile satelitare optice și radar, cu datele de la sol (precum măsurătorile nivelului apei) într-un sistem GIS, permite o evaluare mai precisă a riscului de inundație și o predicție mai robustă a evenimentelor de inundație.

3. Modelarea predictivă și tehnici de Învațare Automată

Tehnicile moderne Machine Learning Algorithms (MLA) ([96]; [227]), cum ar fi Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machine (SVM) și Deep Learning Neural Network (DLNN), au fost integrate în analiza și predicția inundațiilor pentru a îmbunătăți acuratețea și eficiența modelării:

a. Artificial Neural Networks (ANN) sunt metode utilizate pentru a modela relațiile complexe dintre diferitele variabile care influențează inundațiile, cum ar fi precipitațiile, umiditatea solului și debitul râului. Acestea sunt capabile să învețe din datele istorice și să facă predicții precise asupra inundațiilor viitoare ([53]; [264]; [8]);

b. Support Vector Machine (SVM) sunt metode utilizate pentru clasificarea zonelor cu risc de inundație pe baza unor seturi de date spațiale complexe. Această

BUPT

metodă este eficientă în detectarea tiparelor non-liniare şi în predicţia riscurilor de inundaţie în diferite scenarii climatice ([301]; [190]).

c. Deep Learning Neural Network (DLNN) pot construi treptat caracteristici de nivel înalt din seturi de date brute şi au o mare flexibilitate de învăţare şi generalizare, detectând caracteristici complexe ascunse în informaţiile dezvoltate ([343]; [79]).

În cercetarea hidrologică, monitorizarea precisă şi fiabilă a nivelurilor apei este importantă pentru determinarea corectă a valorilor de debit, permiţând analiza şi modelarea scurgerii. Potenţialul tehnicilor de măsurare a nivelului apei a fost îmbunătăţit semnificativ în ultimele două decenii prin noile tehnologii de GIS, de teledetecţie sau de senzori la sol, care oferă monitorizare automată şi măsurători cu o precizie ridicată ([64]; [216]). Pe lângă monitorizarea nivelului apei, pot fi colectate date despre o gamă largă de variabile hidrometeorologice, cum ar fi precipitaţiile, temperatura aerului, viteza vântului, radiaţia solară, adâncimea zăpezii, umiditatea solului sau hidrochimia ([81]; [316]). Un aspect important al reţelelor de senzori pentru prognoza hidrologică este capacitatea acestora de a oferi disponibilitatea datelor aproape în timp real datorită reţelei mobile digitale (GSM), radio sau transfer de date prin satelit [186].

Tehnicile şi metodele de GIS şi teledetecţie se constituie ca instrumente esenţiale pentru cartarea şi monitorizarea pericolelor de inundaţii ([40]; [16]; [168]; [267]; [321]). În prezent, dezvoltarea de modele ale pericolului de inundaţii a devenit fezabilă la scară continentală şi globală, iar aplicarea lor poate fi extrem de utilă pentru pregătirea populaţiei şi implicit pentru reducerea impactul catastrofal al acestor fenomene [99].

BUPT

3. EROZIUNEA, LA NIVEL GLOBAL ȘI REGIONAL: MECANISME, DISTRIBUȚIE GEOGRAFICĂ ȘI ESTIMĂRI GEOMATICE

Eroziunea solului şi alunecările de teren sunt unele dintre fenomenele severe de degradare a terenurilor în multe zone ale globului ([172]; [355]; [322]), fenomen care amenință serios solul și resursele de apă [345] şi are impact semnificativ asupra economiei, societății și mediului [155].

3.1. Mecanisme şi factorii care contribuie la producerea eroziunii

Eroziunea solului este procesul natural prin care particulele de sol sau rocă sunt desprinse, transportate și depuse la distanțe considerabile față de locul lor de origine. Acest fenomen este determinat, în principal, de acțiunea apei și a aerului. Cu toate acestea, activitățile umane și schimbările climatice recente au accelerat semnificativ rata eroziunii ([195]; [146]), având efecte devastatoare asupra ecosistemelor, agriculturii și infrastructurilor, în general. În mod particular, eroziunea în suprafață, cunoscută și sub numele de eroziune prin spălare, este o formă comună și distructivă de eroziune care afectează solurile începând din partea superioară a profilului, îndepărtând stratul fertil al acestora sau în unele cazuri, solul în întregime, până la rocile subiacente ([116]; [108]).

Sub influența combinată a picăturilor de ploaie și a scurgerilor de apă, solul suferă un proces de eroziune în două etape: în prima etapă, particulele de sol sunt desprinse din masa acestuia, iar în a doua etapă, apa le transportă pe distanțe variabile, în funcție de condițiile locale. La procesul de dezagregare a particulelor de sol contribuie și alți factori precum înghețul și dezghețul, umezirea și uscarea solului, greutatea acestuia, schimbările bruște de temperatură etc. Transportul particulelor desprinse este realizat de apa care se scurge, iar în funcție de intensitatea precipitațiilor și de panta terenului, aceasta formează torente cu debite și viteze tot mai mari. Energia cinetică a acestor torente intensifică eroziunea, care poate afecta întreaga suprafață a solului, fenomen cunoscut sub numele de eroziune de suprafață. Totuși, eroziunea poate deveni concentrată în anumite zone ale terenului, de-a lungul liniilor de scurgere, generând astfel eroziune în adâncime.

În clasificarea eroziunii solului sunt folosite diverse criterii, după cum urmează [250]:

1. Din perspectivă istorică:

- eroziune geologică veche - aceasta a avut loc de-a lungul epocilor geologice, contribuind la generarea actualelor forme de relief și a rețelelor hidrografice, datorită schimbărilor nivelurilor de bază ale mărilor şi oceanelor, variațiilor climatice, mișcărilor tectonice etc;
- eroziune geologică actuală (denimită normală sau naturală) – se manifestă în prezent, sub acțiunea apei, vântului, gravitației și gheţarilor. Acest proces se

BUPT

desfăşoară lent şi este perceptibil doar pe perioade lungi de timp, fără să provoace modificări semnificative în morfologia profilului de sol;

2. În funcţie de intensitate şi ritm:

- eroziunea accelerată (antropică) - aceasta se desfăşoară cu o intensitate crescută şi un ritm rapid, pe lângă eroziunea normală. A apărut ca rezultat al modificărilor în natura vegetaţiei, sub influenţa activităţilor umane asupra ecosistemelor naturale;

3. În funcţie de agentul cauzator:

- eroziunea cauzată de apă; poate fi pluvială sau hidrică;
- eroziunea cauzată de vânt: cunoscută şi ca eroziune eoliană;

4. În funcţie de modul de îndepărtare a solului:

- eroziunea în suprafaţă - cunoscută şi ca eroziune plană sau difuză, apare pe suprafeţele relativ plane ale versanţilor, datorită scurgerii difuze a apei;
- eroziunea în adâncime - numită şi eroziune liniară sau torenţială, apare pe direcţiile de concentrare a apelor de scurgere;

5. În funcţie de modul de manifestare şi impactul asupra solului şi terenului:

- eroziunea prin picături de apă (prin impact);
- eroziunea prin scurgerea apei;
- eroziuni speciale - pot include eroziunea cauzată de valuri, irigaţii iraţionale, gheţari etc.

Eroziunea solului este un proces complex determinat de o varietate de factori naturali şi antropici.

Printre **factorii naturali**, pot fi menţionaţi:

Precipitaţiile reprezintă unul dintre principalii factori naturali care contribuie la eroziunea solului, Apa poate disloca particulele de sol, mai ales în regiunile cu o vegetaţie slabă sau absentă, unde solul nu este bine protejat. Scurgerile de suprafaţă cauzate de ploi abundente pot transporta solul desprins, intensificând astfel eroziunea.

Impactul precipitaţiilor în producerea fenomenelor de versant este legat în principal de interacţiunea dintre litologie, orografie, hidrografie, utilizarea terenurilor şi vegetaţie ([254]; [46]; [265]).

Vântul, în special în zonele aride şi semi-aride [32] este un factor semnificativ de eroziune, mai ales în cazul solurilor nisipoase, uşor de mobilizat. Vântul poate transporta particule de sol pe distanţe mari, contribuind la formarea de dune şi la pierderea substanţială de sol din zonele afectate.

Terenurile agricole sunt afectate prin pierderea particulelor fine de sol şi a materiei organice [55] rezultând pierderi economice şi ecologice [305]. Se estimează că 28% din solurile lumii, inclusiv 1,3 mil km^2 din solurile agricole europene, sunt afectate de procesele de eroziune eoliană ([114]; [32]).

Structura solului şi ***tipul de vegetaţie***, sunt consideraţi factori favorizanţi ai eroziunii.

Structura solului influenţează schimbul de gaze, retenţia şi infiltrarea apei, penetrarea rădăcinilor şi ciclul nutrienţilor. De asemenea, structura fizică a solului (textura, coeziunea, permeabilitatea) influenţează susceptibilitatea la eroziune [245]. Solurile nisipoase, dar şi solurile cu agregate slabe, instabile, sunt mai predispuse la eroziune.

De asemenea, tipul şi densitatea vegetaţiei joacă un rol important în desfăşurarea proceselor erozionale. Pe de o parte, rădăcinile plantelor ajută la fixarea solului şi la reducerea pericolului de eroziune. Pe de altă parte, prin acoperirea solului

BUPT

și straturile erbacee, vegetaţia interceptează precipitaţiile și reduce energiei cinetice a acestora şi prelungeşte perioadele de infiltrare a apei ([228]; [100]).

Printre **factorii antropici**, pot fi menţionaţi:

Defrișările pădurilor pentru agricultură, dezvoltare urbană sau alte activităţi umane reduc acoperirea vegetală care protejează solul. În absența rădăcinilor care să ancoreze solul, acesta devine mult mai susceptibil la eroziune cauzată de apă și vânt [166].

Agricultura intensivă, cum ar fi aratul excesiv, monoculturile și utilizarea redusă a metodelor de conservare a solului, pot duce la degradarea structurii solului și la creșterea susceptibilității acestuia la eroziune [324].

Urbanizarea perturbă solul și îndepărtează acoperirea vegetală, crescând astfel riscurile de eroziune. Expunerea solului neacoperit de vegetaţie la precipitații cu intensitate mare poate duce la eroziune severă [312].

3.2. Analiza globală a eroziunii

Eroziunea solului este un proces natural, dar care a fost accelerat de activităţile umane, în special prin agricultură intensivă, defrișări, păşunat excesiv și urbanizare. Acest proces are consecinţe semnificative asupra mediului, agriculturii și comunităţilor, ducând la pierderi de fertilitate a solului, scăderea productivităţii agricole și accentuarea schimbărilor climatice.

Principalele tipuri de eroziune includ:

1. Eroziunea eoliană (provocată de vânt)

Eroziunea solului cauzată de vânt este o ameninţare gravă pentru componentele mediului [188]; aceasta provoacă degradarea severă a solului prin pierderea stratului de sol superficial, care este bogat în materie organică și nutrienţi [125]. Transportul particulelor de sol are loc atunci când forţele exercitate de vânt depăşesc forţele gravitaţionale și de coeziune ale acestora de pe suprafaţa solului și când suprafaţa este în mare parte lipsită de vegetaţie, pietre și/sau zăpadă ([317]; [45]).

În Europa, eroziunea eoliană (Figura 3.1) este o ameninţare binecunoscută în multe părţi ale Germaniei de Nord, Ţările de Jos de Est, Anglia de Est și Peninsula Iberică [45].

Estimările extinderii eroziunii eoliene variază între 10 și 42 de milioane de ha din suprafaţa totală a teritoriului Europei, aproximativ 1 milion de ha fiind clasificate ca fiind grav afectate ([188]; [113]; [114]).

2. Eroziunea pluvială (provocată de apă)

Eroziunea pluvială, principala cauză a degradării solului, este un proces natural care este intensificat de activităţile umane și provoacă pierderi de sol și materie organică, ceea ce se reflectă asupra fertilităţii solului ([262]; [193]). În plus, eroziunea apei deteriorează mediul ecologic, deoarece sedimentele transportă și substanţe nutritive precum azotul, fosforul, potasiul și poluanţii către corpurile de apă [189]. Sedimentele depuse în cursurile de apă conduc la colmatarea și în consecinţă, la reducerea volumului util de apă ([27]; [18]).

BUPT

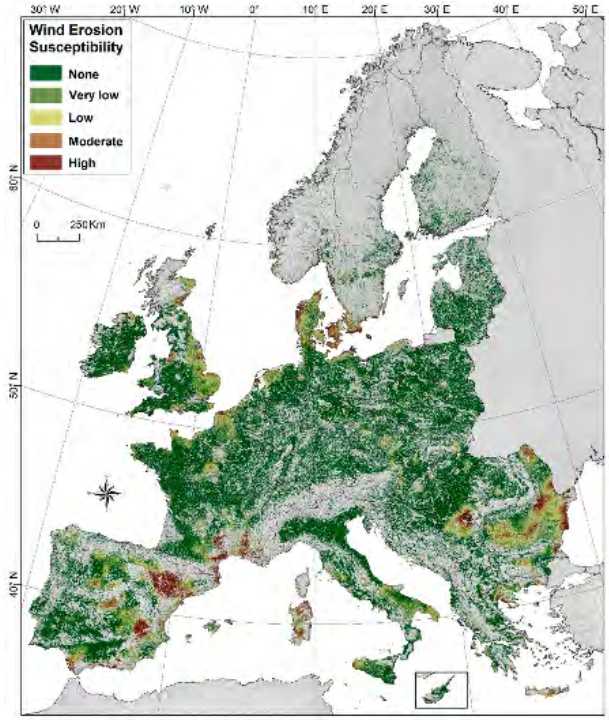


Figura 3.1. Indicele de susceptibilitate a terenurilor la eroziunea eoliană (ILSWE) prezis pentru terenurile agricole din 36 de țări europene [45]

3.2.1. Distribuția geografică a zonelor afectate de eroziune

Eroziunea solului afectează toate continentele, dar severitatea și cauzele pot varia în funcție de factori locali, cum ar fi climatul, tipul de sol, topografia și practicile umane.

Africa subsaharianã este una dintre cele mai afectate regiuni din lume de eroziunea solului. Defrișările și agricultura de subzistență practicate pe scară largă au dus la degradarea semnificativă a solului [346]. În zonele semi-aride, cum ar fi Sahelul, eroziunea eoliană este predominantă din cauza vânturilor puternice și a lipsei de vegetație. În aceste regiuni, secetele frecvente agravează fenomenul, conducând la deșertificare [176].

Asia, în special zonele din India, China și Asia de Sud-Est, se confruntă cu eroziunea severă a solului datorită defrișărilor și agriculturii intensive. Munții Himalaya, de exemplu, sunt o zonă unde eroziunea pluvială este amplificată de topografia abruptă și ploile musonice puternice [246].

Defrișările masive din Amazon au avut un impact devastator asupra solurilor din America de Sud. Eroziunea solului în această regiune este cauzată de practicile agricole nesustenabile, precum tăierea și arderea pădurilor pentru a crea terenuri agricole [193]. Zonele muntoase, cum ar fi Anzii, sunt de asemenea vulnerabile la eroziune din cauza pantei abrupte și a precipitațiilor abundente.

Deși eroziunea solului este mai puțin severă în Europa și America de Nord comparativ cu alte regiuni, practicile agricole intensive și urbanizarea au dus la

BUPT

pierderea semnificativă a solurilor fertile. În Statele Unite, Midwest-ul este cunoscut pentru eroziunea eoliană. Un exemplu clasic în Marile Câmpii semiaride a fost Dustbowl din anii 1930 [33].

În Europa, eroziunea pluvială este o problemă majoră, mai ales în regiunile mediteraneene, precum sudul Spaniei și Italia, din cauza defrișărilor și a secetelor frecvente [45].

3.2.2. Exemple de zone afectate de eroziunea solului cu impact semnificativ

Regiunea Sahelului din Africa de Vest este unul dintre cele mai severe exemple de eroziune a solului și deșertificare. Sahelul este o regiune semi-aridă care se întinde între deșertul Sahara la nord și savanele tropicale la sud. Eroziunea solului în această regiune este cauzată de pășunatul excesiv, agricultura necorespunzătoare și lipsa precipitațiilor. Solurile din Sahel sunt extrem de vulnerabile la eroziunea eoliană, iar acest proces contribuie la pierderea terenurilor agricole, creșterea insecurității alimentare și migrarea forțată a populațiilor [293].

Zona Loess din nord-vestul Chinei este cunoscută pentru una dintre cele mai severe forme de eroziune a solului. Solurile loessoide, care sunt extrem de fertile, sunt totodată foarte vulnerabile la eroziunea pluvială. Ploile abundente din timpul sezonului musonic și pantele abrupte ale terenului contribuie la spălarea și degradarea rapidă a solului. Din anii 1950 până la începutul secolului al XXI-lea, guvernul chinez a implementat o serie de proiecte pe Podișul Loess pentru a prevenirea dezastrelor geologice legate de loess și pentru a recupera eco-mediul din această zonă [67].

Valea Nilului din Egipt, o zonă importantă pentru agricultură și supraviețuirea populației, este puternic afectată de eroziune și degradarea solului. Expansiunea agriculturii intensive și utilizarea necorespunzătoare a sistemelor de irigații au dus la salinizarea și eroziunea solurilor fertile din această regiune [1]. Schimbările climatice și secetele prelungite au amplificat aceste probleme, punând în pericol securitatea alimentară din regiune ([28]; [222]).

3.3. Analiza riscurilor de eroziune în Europa

Eroziunea solului este o problemă importantă în Europa, unde activitățile umane și schimbările climatice au contribuit la degradarea solului, afectând producția agricolă, biodiversitatea și stabilitatea ecologică a continentului. Deși Europa nu se confruntă cu problemele extreme de deșertificare sau eroziune masivă, așa cum se întâmplă în alte părți ale lumii, unele regiuni europene sunt puternic afectate de acest fenomen. Factorii care contribuie la eroziunea solului în Europa includ agricultură intensivă, defrișări, urbanizare și gestionarea necorespunzătoare a resurselor de apă [45].

Daunele aduse solurilor Europei din cauza activităților umane moderne au crescut în a doua jumătate a secolului al XX-lea și au condus la pierderi ireversibile din cauza unui număr de cauze, care variază ca importanță și intensitate între ţări [354].

1. Regiunea Mediteraneană

Regiunea Mediteraneană se confruntă cu provocări semnificative din cauza creșterii temperaturii și a perturbărilor tiparelor de precipitații [235]. Aceste efecte ale schimbărilor climatice includ evenimente extreme mai frecvente, furtuni intensificate, perioade prelungite de secetă și un risc crescut de apariție a incendiilor

BUPT

[235]. În plus, regiunea mediteraneană este caracterizată şi de secole de perturbări antropice, în principal în legătură cu activităţile agricole şi silvopastorale, care ar putea contribui la o creştere semnificativă a ratelor de eroziune a solului [56].

Spania este una dintre ţările europene cele mai afectate de eroziunea solului, în special în regiunile sudice şi estice. Ploile torenţiale, combinate cu agricultura nesustenabilă şi despăduririle, contribuie la pierderea stratului fertil. Aproximativ 25% din teritoriul Spaniei este vulnerabil la eroziune [223]. Conservarea solului este necesară pentru a inversa procesul de abandon al terenurilor şi pentru a îmbunătăţi producţia agricolă, pentru a asigura securitatea alimentară şi durabilitatea. Zonele critice predispuse la eroziune necesită strategii de conservare a solului, cum ar fi ariile protejate [318].

Italia se confruntă, de asemenea, cu probleme semnificative de eroziune a solului, în special în regiunile agricole şi montane. Sudul Italiei, este cel mai grav afectat, unde defrişările şi păşunatul excesiv au agravat eroziunea solului ([339]; [52]). Proiectele de reîmpădurire şi terasare au fost implementate pentru a reduce efectele negative.

2. Regiunile Montane

Eroziunea în zonele montane din Europa este deosebit de gravă, datorită pantelor abrupte şi defrişărilor din aceste regiuni. Zonele montane din Alpi, Pirinei şi Carpaţi sunt vulnerabile la eroziunea solului, în special din cauza precipitaţiilor intense şi a activităţilor de construcţie.

Alpii se confruntă cu eroziune în special în regiunile din Austria, Elveţia şi Franţa, unde agricultura tradiţională şi infrastructura turistică au dus la destabilizarea solului. Eroziunea este una dintre ameninţările majore enumerate în Strategia tematică pentru sol a Comisiei Europene, iar Alpii sunt unul dintre cele mai vulnerabile ecosisteme, cu una dintre cele mai mari rate de eroziune din întreaga Uniune Europeană [135].

Munţii Carpaţi sunt afectaţi de eroziune în special în urma defrişărilor necontrolate, pe pante mari. Tăierea pădurilor pentru resurse de lemn şi expansiunea agriculturii au dus la pierderi semnificative de sol în aceste regiuni. Aceste ecosisteme au devenit printre cele mai ameninţate din lume [41].

3. Europa Centrală şi de Est

În Europa Centrală şi de Est, ţările precum Polonia, Ungaria, România şi Bulgaria se confruntă cu eroziune moderată a solului. Agricultura intensivă şi practicile de irigare nesustenabile au contribuit la eroziunea solului, mai ales în regiunile cu un teren mai înclinat.

4. Europa de Nord

Deşi eroziunea solului în Europa de Nord este mai puţin severă decât în alte regiuni, şi aici există probleme cauzate de agricultură şi defrişări. Ţările din regiunea baltică şi Scandinavia se confruntă cu o eroziune moderată a solului, în special în zonele forestiere.

Eroziunea solului este o problemă semnificativă în Europa, afectând în special regiunile mediteraneene, montane şi cele cu agricultură intensivă. Factorii precum defrişările, urbanizarea şi schimbările climatice contribuie la accelerarea acestui fenomen, punând în pericol productivitatea agricolă şi ecosistemele locale. Deşi există numeroase proiecte de conservare şi reîmpădurire, este esenţial ca gestionarea sustenabilă a terenurilor să devină o prioritate pentru a preveni degradarea continuă a solurilor din Europa.

BUPT

3.4. Riscurile de eroziune în România

În România, aproximativ 43% dintre terenurile agricole prezintă potenţial de eroziune, care îmbracă forme variate, în funcţie de condiţiile locale specifice [243]. Sezonul critic de eroziune este, în general, în perioada mai-august, pe fondul unor cantităţi mari de precipitaţii, cu caracter torenţial [243].

La nivelul României, în ultimele decenii, multe dintre amenajările pentru combaterea eroziunii solului (existente iniţial pe suprafaţa de 2.231.356 ha) au fost abandonate sau sunt în stare precară, ceea ce conduce la amplificarea efectelor eroziunii asupra alor componente ale mediului, precum apele freatice şi apele de suprafaţă, terenurile agricole, etc. ([232]; [212]).

Rata medie de eroziune a solului în România variază în funcție de regiune [299], dar şi de metodele aplicate pentru estimarea acesteia (Figura 3.2).

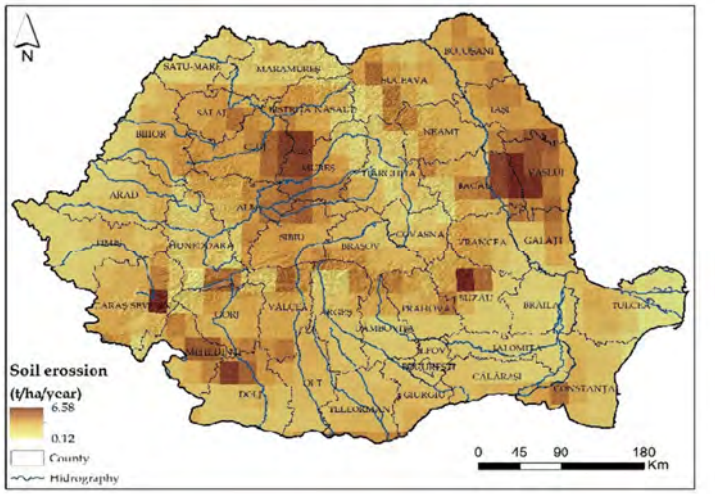


Figura 3.2. Harta eroziunii solului din România ([299], procesare după Borrelli et al, 2020)

Patriche şi colab. (2019) [258] a estimat rata medie de eroziune a solului în România folosind tehnici GIS şi metodologia ROMSEM (Romanian Soil Erosion Model) dezvoltată de Moţoc şi colab. (1975, 1979), inspirată de USLE (Universal Soil Loss Equation), care este încă metodologia standard pentru evaluarea riscului de eroziune a solului în România. Conform acestui studiu, rata medie de eroziune a solului în România este de 2.98 t/ha/an.

Rezultatele studiului arată că clasele cu risc de eroziune ridicat şi foarte ridicat includ 4.1% din teritoriul României (9.627 km^2), localizat, în special, în zonele deluroase şi de podiş (Subcarpaţi, Podişul Moldovei, Podisul Getic, Dealurile de Vest, Podişul Dobrogei) [258]. În regiunile cu agricultură intensivă, cum ar fi Câmpia Română, eroziunea de suprafață cauzată de vânt şi apă este semnificativă, în special în zonele fără vegetație [290].

Cardei şi colab. (2020) [61] a realizat un studiu al eroziunii solului în România, în funcţie de județe. Conform datelor prezentate, județele cu cele mai mari pierderi medii de sol prin eroziune sunt Vaslui (7.75 t/ha/an), Iaşi (5.97 t/ha/an) şi Botoşani (5.92 t/ha/an). În contrast, județele cu valori mai scăzute includ Ilfov (1.07 t/ha/an),

BUPT

Giurgiu (1.06 t/ha/an) și Ialomița (0.93 t/ha/an). Aceste diferențe sunt influențate de factori locali precum panta terenului, vegetația și metodele de gestionare a solului.

Un studiu recent realizat de Patriche și colab. (2023) [259], pentru teritoriul României, efectuează o proiectare a ratelor de eroziune a solului în diferite scenarii, pe baza schimbărilor climatice.

Rezultatele arată că, în contextul schimbărilor climatice, este probabil ca ratele de eroziune să crească în următoarele decenii pentru toate unităţile majore de relief, de la valori medii cuprinse între 2.39 – 5.71 t/ha/an, în condiţiile climatice actuale, la 2.99 – 6.94 t/ha/an, până în anul 2080. Pentru întreaga țară, creșterea medie este de la 2.94 la 3.74 t/ha/an, pentru perioada 2041 - 2060 și la 3.69 t/ha/an, pentru perioada 2061 - 2080 [259].

Eroziunea solului în România reprezintă o provocare semnificativă pentru sustenabilitatea mediului și a agriculturii, afectând în special regiunile deluroase și podișurile. Rata medie de eroziune la nivel național este de 2.98 t/ha/an, însă există variații teritoriale mari. Previziunile pentru următoarele decenii indică o creștere a ratei de eroziune, ceea ce subliniază necesitatea implementării de măsuri eficiente de conservare a solului, în special în contextul schimbărilor climatice.

3.5. Lucrări de îmbunătăţiri funciare pentru prevenirea şi combaterea efectelor eroziunii solului

Eroziunea solului provoacă daune semnificative atât agriculturii, cât și altor componente ale mediului sau diferitelor sectoare economice.

Printre cele mai semnificative **consecințe ale eroziunii solului** se numără ([268]; [203]; [266]; [139]; [50]; [215]):

- schimbarea proprietăților chimice ale solului; se produce îndepărtarea stratul superficial al solului, bogat în humus și azot, ceea ce reduce fertilitatea naturală a acestuia; de asemenea, se acumulează carbonați din orizonturile inferioare, ceea ce face mai greu accesibil fosforul mobil și alte elemente nutritive;
- modificarea proprietăților fizice și hidrofizice ale solului; se alterează structura și textura solului, afectând astfel capacitatea acestuia de a reține apa, dar şi circulaţia apei în profilul solului;
- scăderea producției agricole; din cauza pierderii de substanțe nutritive și deteriorării caracteristicilor fizice ale solului, recoltele se reduc semnificativ;
- reducerea suprafeței arabile; ravenele, torenții și suprafețele sever erodate reduc terenurile cultivabile;
- distrugerea infrastructurii, prin torenții și ravene mari care deteriorează construcțiile, drumurile și lucrările de îmbunătățiri funciare;
- colmatarea lacurilor de acumulare; depunerile de sedimente în lacuri diferă în funcție de amplasarea bazinele hidrografice și intensitatea eroziunii;
- dificultăți în utilizarea terenurilor; eroziunea formează ravene și ogașe care fac lucrările agricole și mecanizarea dificilă.

Măsurile și lucrările pentru prevenirea şi combaterea eroziunii solului ([231]; [271]; [212]; [50]) trebuie să fie adaptate la gradul de risc specific al eroziunii, la metodele agrofitotehnice și hidrotehnice adecvate pentru condițiile locale, precum și la rentabilitatea economică a acestor intervenții. Implementarea acestora ar trebui să aibă ca efecte:

- diminuarea pierderilor de sol cauzate de eroziune;

BUPT

- creșterea fertilității solului prin conservarea mai eficientă a apei și o utilizare mai bună a îngrășămintelor de către culturi;
- sporirea producției agricole;
- facilitarea mecanizării lucrărilor agricole și îmbunătățirea condițiilor pentru transportul produselor pe terenurile ameliorate;
- integrarea acestor lucrări în planul general de amenajare a bazinului hidrografic de care aparține terenul.

Pentru a preveni și combate eroziunea solului pe ***terenurile arabile***, se pot implementa diverse măsuri și lucrări specifice:

- măsuri agrofitotehnice pe terenurile în pantă; pierderile de sol pot fi reduse până la niveluri acceptabile prin aplicarea unor tehnici simple, cum ar fi rotația culturilor, utilizarea îngrășămintelor și mobilizarea corespunzătoare a solului;
- sisteme antierozionale de amplasare a culturilor pe versanți (cultivarea pe curbele de nivel, utilizarea de fâșii cultivate, alternarea cu benzi de vegetație înierbată); aceste sisteme sunt esențiale pentru prevenirea eroziunii și reducerea pierderilor de apă și sol în timpul ploilor abundente;
- lucrări hidrotehnice pentru terenurile în pantă; pe versanții unde riscul de eroziune este extrem de ridicat și măsurile agroameliorative nu sunt suficiente, se pot realiza intervenții speciale, cum ar fi modelarea suprafețelor cu valuri de pământ, șanțuri sau agroterase, pentru a regla scurgerea apei și a reduce viteza acesteia, astfel prevenind eroziunea și gestionând eficient excesul de apă.

Pentru a preveni și a combate eroziunea solului în ***plantațiile de viță de vie***, se pot implementa diverse măsuri și lucrări, în funcție de caracteristicile terenului:

- lucrările antierozionale simple, eficiente pe versanți cu pante reduse și soluri care nu sunt grav afectate de eroziune; aceste măsuri includ: efectuarea lucrărilor adânci de pregătire a solului; utilizarea îngrășămintelor organice verzi; instalarea benzilor de vegetație; formarea biloanelor sau a microbazinelor pentru reținerea apei;
- lucrările hidrotehnice speciale, aplicabile pe terenurile cu pante mari și relieful accidentat, unde controlul scurgerilor de apă și eroziunii necesită măsuri mai complexe și mai costisitoare; acestea includ: modelarea și nivelarea terenului; dirijarea apei de suprafață prin canale de coastă și debușee; terasarea terenului.

În ***plantațiile pomicole***, lucrările antierozionale (agrotehnice și/sau hidrotehnice) sunt adaptate în funcție de specificul acestora. Distanțele mai mari dintre pomi, atât între rânduri, cât și pe rând, permit implementarea unor măsuri agrotehnice dedicate și utilizarea eficientă a spațiului dintre rânduri pentru culturi intercalate sau fâșii de iarbă. În același timp, se pot realiza lucrări hidrotehnice speciale, cum ar fi agroterasele sau canalele de coastă, ale căror dimensiuni și tipuri sunt determinate de caracteristicile specifice culturii respective.

Pentru prevenirea și reducerea eroziunii pe ***pășuni,*** pot fi implementate diverse măsuri și lucrări specifice:

a. îmbunătățirea vegetației; menținerea unui covor vegetal dens este esențială pentru controlul eroziunii. Aceasta implică aplicarea unor lucrări care includ refacerea și îmbunătățirea vegetației existente prin distrugerea mușuroaielor, fertilizare și supraînsămânțare. În cazul pășunilor grav deteriorate, solul trebuie prelucrat, fertilizat și însămânțat pentru a le transforma în terenuri productive.

b. lucrări pentru reținerea apei. Pe terenurile în pantă, este necesară implementarea unor lucrări speciale pentru a facilita infiltrarea apei și a controla

BUPT

scurgerile. Pe pantele mai abrupte (peste 20%), se practică desţelenirea în benzi alternante, pentru a permite regenerarea vegetaţiei, iar pe pante de până la 30%, brăzduirea poate ajuta la reţinerea apei. Brăzduirea presupune crearea de brazde adânci, dispuse pe curbele de nivel, şi poate fi completată prin folosirea drenurilor „cârtiţă" distribuite uniform, care reţin apa din precipitaţii.

Valurile de pământ sunt o altă măsură utilă în zonele de stepă şi silvostepă, alături de perdelele forestiere de protecţie, care trebuie plantate în punctele critice, cum ar fi rupturile de pantă sau zonele cu alunecări severe.

Eroziunea în adâncime, formă avansată a eroziunii în suprafaţă, implică formarea unor canale adânci cauzate de şuvoaie mici de apă. Pe măsură ce cantitatea de apă creşte, capacitatea sa de eroziune creşte, generând formaţiuni caracteristice, precum rigole, ogaşe şi ravene. Această eroziune afectează semnificativ terenurile agricole, împiedicând lucrările mecanizate, contribuind la colmatarea lacurilor de acumulare şi degradând infrastructura.

Pentru a combate acest fenomen, se implementează diverse lucrări transversale pe cursurile torenţiale pentru a reduce panta şi a proteja malurile şi fundul cursului. Acestea includ cleionaje (împletituri de nuiele), fascinaje (fascine suprapuse), garnisaje (saltele de crengi) şi baraje sau praguri din diverse materiale. În plus, măsurile silvice, precum plantaţiile de protecţie sau perdelele forestiere, sunt aplicate pentru stabilizarea terenului şi reducerea efectelor eroziunii, acestea fiind amplasate strategic în funcţie de specificul formaţiunilor torenţiale.

3.6. Tehnici şi metode geomatice de analiză şi predicţie a eroziunii

În prezent, există o mare varietate de modele dezvoltate pentru evaluarea eroziunii solului, care pot fi grupate în modele empirice, conceptuale şi orientate pe procese [47], deşi majoritatea nu se încadrează strict într-o singură categorie [91]. Categoria empirică include modele precum USLE [364] şi RUSLE [289], care se bazează pe relaţii statistice între ratele măsurate ale eroziunii solului şi factorii de eroziune. Categoria conceptuală include modele precum AGNPS (Modelul de poluare difuză din surse agricole) şi SWAT (Instrumentul de evaluare a solului şi apei), care sunt bazate pe concepte hidrologice [259]. Modelele orientate pe procese (sau bazate pe fizică), precum WEPP (Proiectul de predicţie a eroziunii apei) [120], sunt de fapt modele conceptuale mai complexe [91].

Una dintre cele mai cunoscute modele empirice şi intens utilizate este Ecuaţia Universală a Eroziunii Solului (USLE) dezvoltată de Departamentul de Agricultură al Statelor Unite (USDA), ecuaţie revizuită prin RUSLE, cu mai mullte variante ([121]; [254]). Aceste modelele empirice sunt simple şi pot fi uşor implementate în medii GIS, modelele USLE şi RUSLE fiind foarte populare şi aplicate la nivel local, regional, naţional (de exemplu, Patriche, în 2019, pentru România [258]; Marcinkowski şi colab., în 2022, pentru Polonia [217]; Räsänen şi colab., în 2023, pentru Finlanda [287]), continental ([48]; [254]) şi chiar global [46]. O recenzie recentă a literaturii ştiinţifice [47] arată că modelele RUSLE şi USLE sunt printre cele mai utilizate modele de eroziune la nivel global, cu 17,1% şi, respectiv, 13,9% din aplicaţii.

Aceste metode sunt aplicate în diferite condiţii şi la diferite scări spaţio-temporale ([95]; [112]; [298]; [138]; [26]; [221]; [242]; [259]).

BUPT

Metoda ROMSEM (Romanian Soil Erosion Model) este o adaptare a modelului global USLE (Universal Soil Loss Equation) pentru condițiile specifice României.

Dezvoltată de cercetători români precum Mircea Moțoc în anii 1970, ROMSEM a fost creată pentru a evalua eroziunea solului cauzată de factori climatici şi geomorfologici din România. Aceasta ia în calcul variabile precum eroziunea pluvială, lungimea și panta versanților, dar și tipul de acoperire vegetală și utilizarea terenului ([21]; [298]; [298]).

ROMSEM utilizează un set de coeficienți adaptați din USLE, în special pentru condițiile climatice și de sol din România, și este aplicată pe scară largă în evaluarea riscurilor de eroziune, în special în zonele agricole și forestiere. Aceasta permite estimarea pierderilor de sol anuale pe hectar și facilitează implementarea măsurilor de conservare [258].

BUPT

PARTEA A II-A
REZULTATELE CERCETĂRILOR PROPRII

4. MODELE ŞI TEHNICI GEOSPAȚIALE ÎN STUDIUL INTEGRAT AL BAZINULUI CRIȘUL ALB

Analiza detaliată a bazinelor hidrografice este esențială pentru gestionarea resurselor de apă, prevenirea inundațiilor, conservarea mediului și dezvoltarea durabilă. Prin utilizarea GIS, se poate integra și analiza o gamă largă de date geospațiale, cum ar fi topografia, utilizarea terenului, tipurile de sol și rețeaua hidrografică, pentru a înțelege mai bine dinamica bazinului hidrografic. Teledetecția, care implică utilizarea imaginilor satelitare și a altor date obținute de la distanță, permite monitorizarea schimbărilor în timp, cum ar fi modificările în acoperirea terenului, eroziunea solului și variațiile în regimul hidrologic. Aceste tehnologii permit o evaluare detaliată și precisă a condițiilor și proceselor din cadrul unui bazin hidrografic, sprijinind astfel deciziile informate în managementul apei și în planificarea teritorială.

4.1. Scop şi obiective

Scopul cercetărilor din această secţiune a lucrării este de a dezvolta și aplica un model complex de analiză geospațială, utilizând tehnici GIS și mijloace de teledetecție, pentru a înțelege dinamica mediului fizico-geografic, hidrografic și al utilizării terenurilor în bazinul Crișului Alb. Acest model are ca obiectiv general evaluarea interacțiunilor dintre diferitele componente ale geosistemului și prognoza schimbărilor viitoare, în vederea facilitării unei gestionări durabile și echilibrate a resurselor naturale și a dezvoltării regionale.

Obiectivele specifice ale cercetărilor din acest capitol, se referă la:

1. Încadrarea în zonă a bazinului Crișul Alb:

- realizarea unei delimitări precise a bazinului hidrografic şi a elementelor cadrului natural, utilizând metode GIS, pentru a asigura o bază geospațială corectă și detaliată;

2. Interacțiunea climatică în fenomenele de risc hidrogromorfologic:

- evaluarea influenței variabilității climatice asupra fenomenelor de risc hidrogromorfologic, prin analiza datelor climatice;

3. Analiza pedologică și a riscurilor hidrogromorfologice asociate:

- Investigarea distribuției solurilor în bazinul Crișului Alb, pentru a determina susceptibilitatea acestora la inundații și eroziune;

4. Evaluarea hidrografică a bazinului Crișului Alb:

- realizarea unui profil hidrografic detaliat al Crișului Alb și al afluenților săi;

5. Monitorizarea și cartografierea schimbărilor în utilizarea terenurilor;

6. Scenarii în viitoarea utilizare a terenurilor pentru anul 2035;

7. Analiza impactului schimbărilor în utilizarea terenurilor.

BUPT

4.2. Materiale şi metode

4.2.1. Materiale şi software-uri utilizate

Pentru desfăşurarea cercetărilor şi implementarea fluxului de lucru, respectiv caracterizarea multidirecţională a teritoriului bazinal şi analiza modului de utilizare a terenului, au fost utilizate următoarele seturi de date geospaţiale:

- Modelul Digital de Elevaţie (Digital Elevation Model - DEM), cu rezoluţia spaţială la 25 m, în format raster, utilizat pentru caracterizarea fizico-geografică a bazinului Crişul Alb [115];
- limita bazinală şi a subbazinelor, în format vectorial, utilizată la delimitarea zonei de studiu şi la analiza teritorială [23];
- reţeaua hidrografică, în format vectorial, utilizată pentru caracterizarea şi analiza hidrografică [23];
- harta unităţilor de relief, în format vectorial, conform regionării realizate de Posea şi Badea (1984) [278], disponibilă pe platforma Geospatial [133], utilizată pentru identificarea şi caracterizarea unităţilor de relief din bazinul Crişului Alb;
- precipitaţii medii multianuale, date statistice, din perioada 2013 – 2022, colectate de la 11 staţii meteorologice din teritoriu şi din proximitatea acestuia, utilizate la analiza distribuţiei precipitaţiilor la nivel de bazin [34];
- harta solurilor, în format vectorial, pentru analiza pedologică, la nivel de bazin [133];
- baza de date Corine Land Cover, ediţiile 1990, 2000, 2006, 2012 şi 2018, date vectoriale, utilizate pentru analiza dinamicii modului de utilizare a terenului, date disponibile pe platforma Copernicus Land Monitoring Service [76];
- date auxiliare (limita de judeţ, limita de UAT, localităţi, etc), în format vectorial [133], utilizate ca elemente de orientare.

Datele și informațiile științifice utilizate în cadrul cercetărilor din această secțiune a lucrării au fost prelucrate prin diverse metode și software-uri, după cum urmează: pentru prelucrarea datelor geospaţiale, analize overlay și reprezentarea cartografică a fost utilizat software-ul ArcGIS 10.4 for Desktop [19]; pentru analiza şi prognoza modului de utilizare a terenului, s-a utilizat software-ul TerrSet 18.21 [104]; prezentarea rezultatelor a fost realizată cu ajutorul pachetului Microsoft Office 2016, iar editarea imaginilor, cu Adobe Photoshop CC 2018.

4.2.2. Metodologia de cercetare

Metodologia de cercetare este prezentată în figura 4.1. Algoritmul de lucru aplicat, în mediul GIS. a fost divizat în două etape: (1) analiza teritorială şi evaluarea hidrografică a bazinului Crişul Alb şi (2) analiza utilizării terenurilor, sub aspectul dinamicii şi evoluţiei viitoare. O parte a cercetărilor din această secţiune a lucrării au fost publicate în articolul cu titlul „Inventory of grassland surfaces in the Crísul Alb hydrographic basin, using GIS techniques”, în jurnalul Research Journal of Agricultural Science (55/4, 2023) [72] şi în articolul cu titlul „Analysis of spatial and temporal changes in the land use in the hydrographic basin of the Crísul Alb river, through geomatic techniques”, în jurnalul Natural Resources & Sustainable Development (13/2, 2023) [73].

În prima etapă a metodologiei de cercetare, au fost analizate condiţiile de relief, unităţile fizico-geografice şi pedologice din bazinul Crişului Alb.

Condiţiile climatice, în special precipitaţiile atmosferice, au fost analizate pe baza mediilor anuale din perioada 2013 – 2022. Pentru generarea hărţii distribuţiei

BUPT

precipitaţiilor la nivelul bazinului, s-a aplicat interpolarea distanței inverse ponderate (Inverse Distance Weighting - IDW). De asemenea, au fost analizate fenomenele de risc hidrogeomorfolgic, declanşate şi intreţinute de factorii meteorologici.

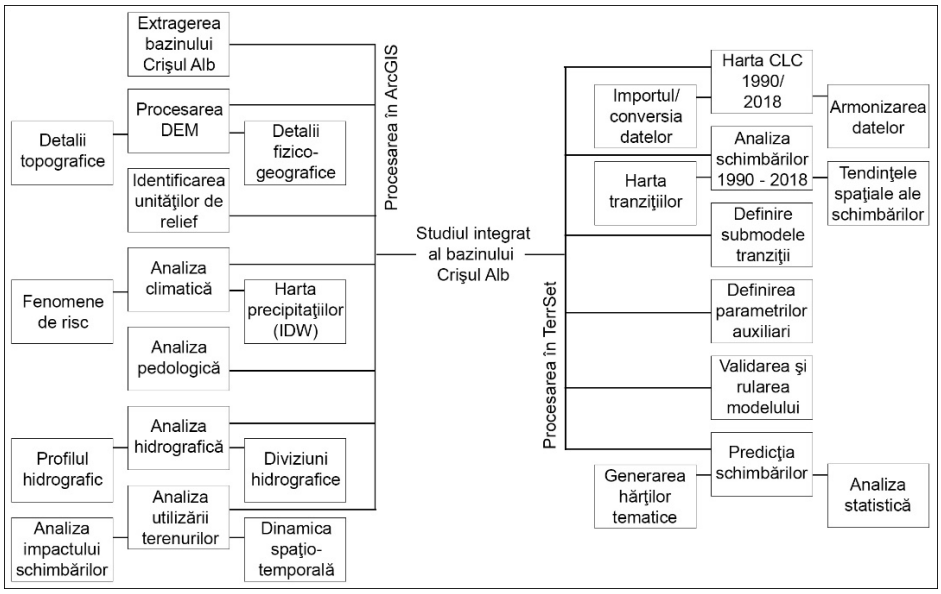


Figura 4.1. Metodologia de cercetare

Analiza hidrografică a presupus reprezentarea şi cercetarea bazinului şi a reţelei hidrografice, în mediul GIS.

Pentru analiza modului de utilizare a terenului, au fost utilizate bazele de date Corine Land Cover (CLC), din anii 1990, 2000, 2006, 2012 şi 2018. Prin intersecţia spaţială a seturilor de date, au fost identificate schimbările produse în modul de utilizare a terenului, în intervalul selectat.

Cea de-a doua etapă a metodologiei de cercetare a presupus analiza modului de utilizare a terenului în software-ul TerrSet (modulul Land Change Modeler) [104] pentru a genera prognoze privind evoluţia acestuia pentru anul 2035. Procesarea datelor a presupus:

- preprocesarea datelor – importul şi conversia datelor în format specific şi armonizarea legendelor celor două seturi de date, din anii 1990 şi 2018;
- analiza schimbărilor - evaluarea schimbărilor în utilizarea terenului între cele două momente de timp selectate pentru a înțelege tendințele și modelele de schimbare;
- predicţia schimbărilor care se vor produce în viitor – s-a creat modelul de predicţie prin algoritmul Neural Network (MLP), utilizat pentru a prezice probabilitatea schimbărilor în utilizarea terenului pe baza factorilor determinanţi identificaţi (relief, accesibilitate, panta terenului, etc) şi s-a rulat modelul definit;
- evaluarea şi validarea rezultatelor – prin analize statistice;
- generarea hărţilor tematice şi a datelor statistice.

BUPT

4.3. Analiza teritorială a bazinului hidrografic Crișul Alb utilizând metode GIS

4.3.1. Încadrarea în zonă a bazinului Crişul Alb

Bazinul hidrografic al râului Crişul Alb, considerat studiu de caz în această lucrare (Figura 4.2), aparţine Spaţiului Hidrografic Crişuri şi este situat în partea de vest a României. Se desfăşoară aproximativ pe direcţia SE – NV, punctele extreme fiind 46°8'58.3"N, 23°6'18.3"E, în apropierea localităţii Tarniţa; 46°2'28.1"N, 22°47'12.7"E, aproape de localitatea Dealu Mare; 46°30'8.2"N, 21°15'43.0"E, lângă localitatea Grăniceri şi 46°38'17.6"N, 21°22'1.7"E, în apropierea localităţii Vârşand ([72]; [73]).

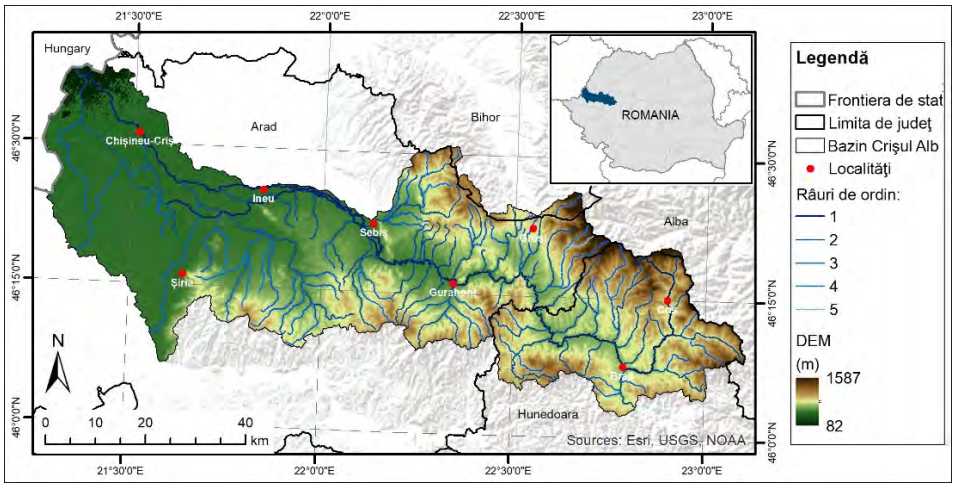


Figura 4.2. Localizarea şi DEM-ul bazinului Crişul Alb [74]

Bazinul Crişului Alb se suprapune, în mare parte, judeţului Arad, iar în partea sud-estică, judeţului Hunedoara; în est, pe suprafeţe foarte mici, se extinde în judeţul Alba, iar în nord, de asemenea, pe o suprafaţă redusă, se suprapune pe teritoriul judeţului Bihor. Suprafaţa bazinală este de 422.798 ha şi perimetrul de 521.965 m.

Relieful bazinului Crişul Alb, complex sub aspect geologic şi geomorfologic, se caracterizează prin altitudini minime de 82 m, în lunci şi câmpiile joase din jumătatea vestică şi altitudini maxime de 1587 m, în zona montană din jumătatea estică (Munţii Bihorului). Altitudinea medie este de 323 m.

Bilanţul altimetric al bazinului Crişul Alb arată că 42% din teritoriu se află sub altitudinea de 200 m şi 25% între 201 – 400 m, ceea ce desemnează caracterul colinar al reliefului. Altitudini peste 801 m se regăsesc pe 4% din suprafaţa totală, în Munţii Bihorului [72].

Conform regionării realizate de Posea și Badea (1984) [278], teritoriul bazinului hidrografic Crișul Alb cuprinde diverse unități de relief (Figura 4.3), astfel:

- Munții Apuseni, cu Munții Bihorului (40.339 ha, 10%), Munții Zarandului (36.767 ha, 9%), Munții Metaliferi (53.183 ha, 13%), Munţii Codru-Moma (32.092 ha, 8%), Depresiunea Brad-Hălmagiu (41.740 ha, 10%);

BUPT

- Dealurile Crişanei şi Silvaniei, cu Dealurile Codru-Moma (17.222 ha, 4%), Depresiunea Zarandului (30.645 ha, 7%), Dealurile Cigherului (49.025 ha, 12%);
- Câmpia Banato-Crişană, Câmpia Joasă a Crişurilor (78.421 ha, 19%) şi Câmpia Mureşului (43.270 ha, 10%).

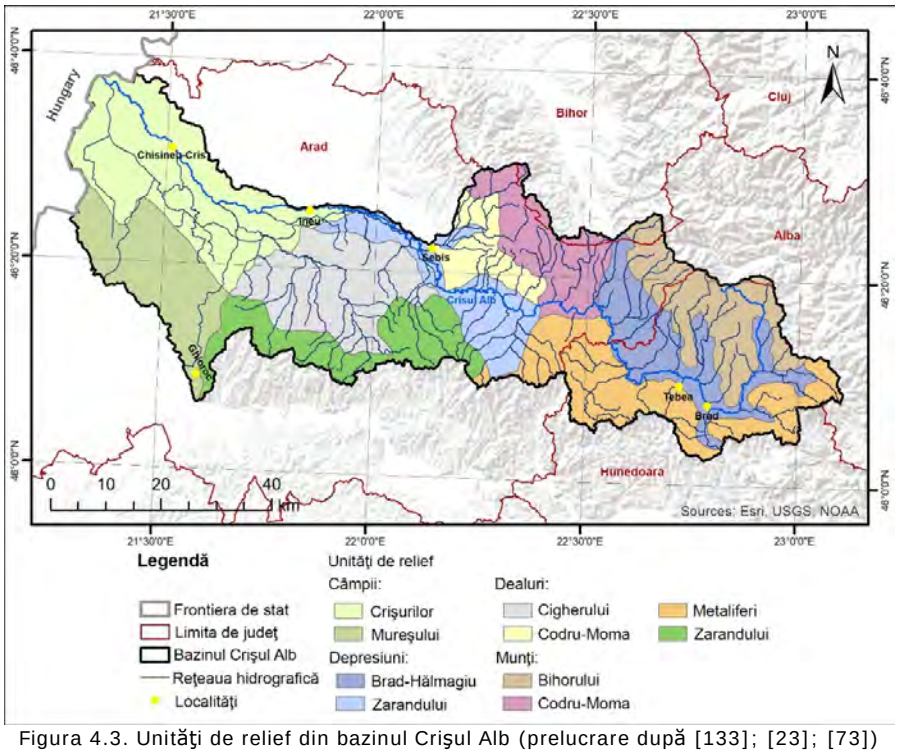


Figura 4.3. Unităţi de relief din bazinul Crişul Alb (prelucrare după [133]; [23]; [73])

Aceste unităţi de relief se distribuie astfel: Munţii Apuseni ocupă zona de sud şi est, dealurile se află în zona centrală, iar câmpia se extinde în vestul bazinului Crişul Alb (Figura 4.3).

În concordanţă cu distribuţia factorilor de mediu, jumătatea estică este dominată de păduri şi pajişti, iar jumătatea vestică şi zonele depresionare, de terenuri agricole ([278]; [300]).

4.3.2. Interacţiunea climatică în producerea fenomenelor de risc hidrogromorfologic

Bazinul hidrografic Crişul Alb are un climat variat, influenţat de diferenţele de altitudine şi de forma reliefului în care se desfăşoară. Acesta acoperă mai multe unităţi geografice, cum ar fi Munţii Bihorului, Munţii Metaliferi, Munţii Codru-Moma, Munţii Zărandului, dealurile şi câmpiile aferente.

În zonele montane (Munţii Bihorului, Munţii Metaliferi, etc.) predomină un climat montan, caracterizat prin temperaturi mai scăzute şi precipitaţii abundente, comparativ cu zonele de câmpie şi deal. Temperaturile medii anuale sunt între 4-6°C.

BUPT

Precipitaţiile anuale depășesc 1000 mm, iar iernile sunt lungi și reci, cu zăpezi persistente [250].

În zona dealurilor (Dealurile Codru-Moma, Dealurile Cigherului, etc.), verile sunt calde, iar iernile sunt mai blânde decât în zonele montane; temperaturile medii multianuale se încadrează între 8 - 10°C, iar precipitaţiile multianuale se încadrează între 600-800 mm.

Zonele depresionare (Depresiunea Brad-Hălmagiu, Depresiunea Zărandului, etc.) au un climat continental moderat, cu veri calde şi ierni reci. Temperaturile medii multianuale sunt cuprinse între 9-11°C, iar precipitaţiile sunt moderate, variind între 600-700 mm pe an.

Zonele de câmpie (Câmpia Joasă a Crișurilor, Câmpia Mureșului) au un climat continental, cu veri foarte calde și secetoase și ierni reci. Temperaturi medii multianuale sunt cuprinse între 10 - 11°C, iar precipitaţiile sunt mai reduse, situându-se în jurul valorii de 500-600 mm anual.

Având în vedere rolul eseţial al precipitaţiilor în declanşarea şi manifestarea fenomenelor de risc hidrogeomorfologic, în cele ce urmează, vom face o analiză detaliată a caracteristicilor şi distribuţiei precipitaţiilor în teritoriul analizat. Datele au fost colectate de la cele 11 staţii meteorologice, amplasate la altitudini diferite în zona de studiu şi în proximitatea zonei.

Distribuția precipitațiilor în bazinul Crișului Alb variază semnificativ de la est la vest (Figura 4.4). Zonele montane din est se caracterizează prin cele mai mari cantităţi de precipitaţii căzute, în timp ce, în zona de vest, cantităţile sunt mai reduse.

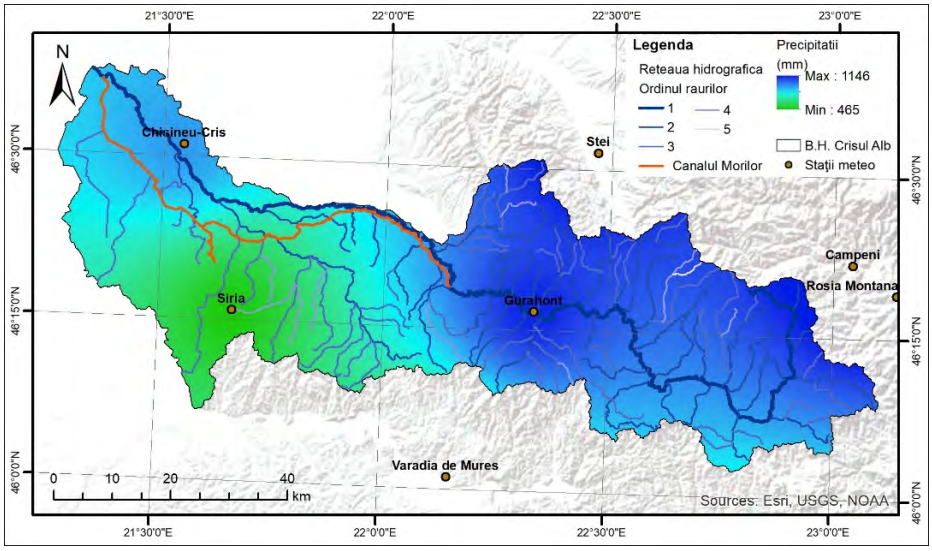


Figura 4.4. Distribuţia precipitaţiilor medii multianuale (2013 – 2022) în bazinul Crişul Alb

Analizând dispunerea precipitațiilor în bazinul Crișului Alb în funcţie de altitudine (Figura 4.5), putem observa următoarele:

- în general, există o tendință de creștere a mediei multianuale a precipitațiilor odată cu creșterea altitudinii. De exemplu, în proximitatea staţiei Roșia Montană (1196 m) și Ștei (279 m) s-au înregistrat precipitații multianuale semnificativ mai mari (1146.2 mm și, respectiv, 1079.8 mm) comparativ cu zonele situate la altitudini

BUPT

mai joase precum Alba Iulia (253 m) cu 492.5 mm și Vărădia de Mureș (156 m) cu 464.9 mm.

- există și câteva excepții de la această corelație; de exemplu, în zona deservită de stația meteo Chisineu-Criș (96 m) s-a înregistrat o medie multianuală a precipitațiilor de 869.9 mm, care este destul de ridicată pentru altitudinea zonei, sugerând că alți factori locali pot influența precipitațiile în această zonă.

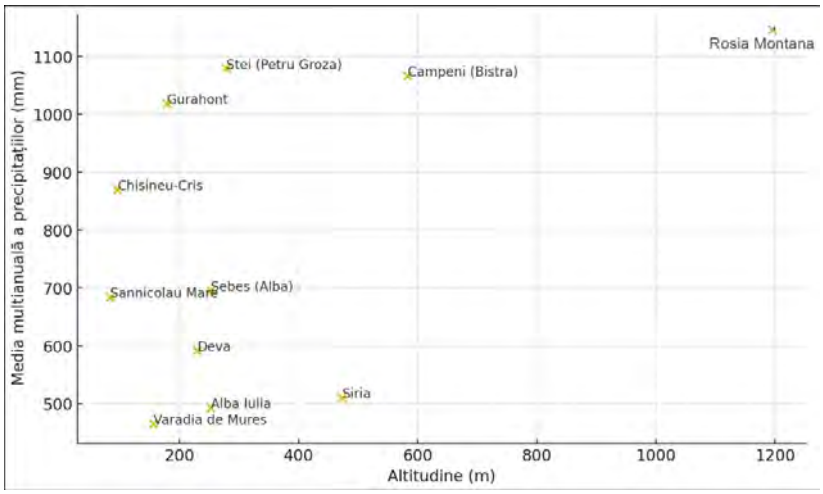


Figura 4.5. Distribuţia precipitaţiilor medii multianuale (2013 – 2022) în funcţie de altitudine, în bazinul Crişul Alb

- dacă ne referim la varietatea regională, subzonele aflate la altitudini similare pot avea diferențe semnificative în media multianuală a precipitațiilor. De exemplu, staţiile Alba Iulia și Sebeș (Alba) se află la aceeași altitudine (253 m), dar precipitațiile sunt diferite (492.5 mm față de 695.7 mm);

- deși s-a stabilit o corelație generală între altitudine și precipitațiile medii multianuale, distribuția precipitațiilor în bazinul Crișului Alb este influențată și de alți factori locali care pot devia de la tendința generală observată.

Dacă analizăm riscul potenţial de inundaţii în bazinul Crișului Alb, prin prisma caracteristicilor şi distribuţiei precipitaţiilor, se pot extrage următoarele idei:

- subzonele aflate la altitudini mai mari (Roșia Montană, Ștei), înregistrează cantităţi multianuale de precipitaţii semnificativ mai mari; acest fapt sugerează un risc crescut de acumulare a apei și potențiale inundații în aceste zone, mai ales în caz de ploi torențiale sau precipitații persistente, pe durate mari de timp;

- subzone precum Chisineu-Criș, care, deși se află la o altitudine joasă, prezintă o medie a precipitațiilor ridicată, indică prezența unor factori locali (cum ar fi microclimatul, poziția geografică specifică) care pot amplifica riscul de inundații. Aceasta arată că riscul de inundații nu depinde doar de altitudine, ci și de condițiile locale particulare;

- diferențele semnificative în cantităţile de precipitații, între subzone aflate la altitudini similare (ex. Alba Iulia și Sebeș), sugerează că evaluarea riscului de inundații trebuie să fie specifică pentru fiecare zonă şi pe întreg teritoriul, luând în considerare nu doar altitudinea, ci și alți factori hidrologici și geografici locali;

- zonele cu precipitații ridicate și altitudini mari au un potențial crescut de scurgere a apei, care poate duce la inundații în aval. De exemplu, cantităţile mari de

BUPT

precipitaţii căzute în subzona Roșia Montană, poate contribui la creșterea debitului râurilor ce curg spre localitățile din aval, cum ar fi Vărădia de Mureș.

Distribuția precipitațiilor în bazinul Crișului Alb indică un risc variabil de inundații, influențat de altitudine și factori locali. Evaluarea detaliată și măsurile proactive sunt esențiale pentru gestionarea eficientă a riscului de inundații în acest bazin hidrografic şi sunt discutate într-o altă secţiune a lucrării.

4.3.3. Analiza pedologică și riscurile hidrogromorfologice asociate

Diversitatea tipurilor de sol (Figura 4.6) reflectă variabilitatea geologică, geomorfologică și climatică a regiunii. Solurile fertile precum cernoziomurile și aluviosolurile predomină în zonele de câmpie, în timp ce solurile mai puțin fertile sau cu caracteristici speciale (cum ar fi litosolurile și districambosolurile) sunt întâlnite în zonele montane.

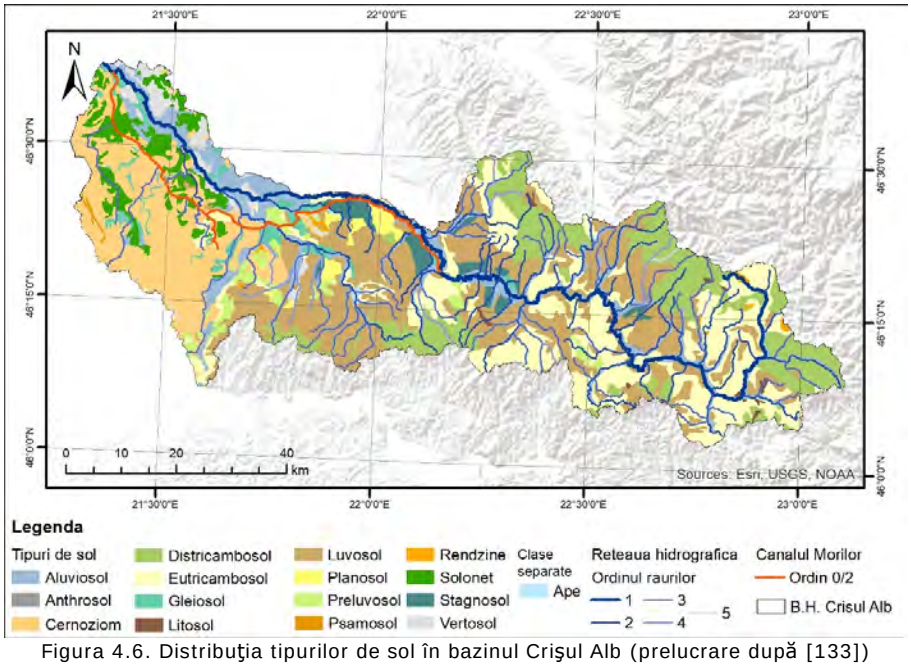


Figura 4.6. Distribuţia tipurilor de sol în bazinul Crişul Alb (prelucrare după [133])

Litosolurile sunt soluri superficiale, dezvoltate pe substrat stâncos. Au profil scurt, sunt foarte bine drenate şi au conținut redus de materie organică [42].

În bazinul analizat, litosolurile se extind pe suprafaţa de 1.904 ha (sub 1% din total), la altitudini mari, în Munții Codru-Moma, Munții Metaliferi, etc.

Psamosolurile sunt soluri formate pe depozite nisipoase; au textură nisipoasă, drenaj excelent şi conținut scăzut în materie organică. Sunt localizate în luncile râurilor și zonele de câmpie, pe 476 ha (sub 1% din total).

Aluviosolurile sunt soluri formate din sedimente aduse și depuse de apele curgătoare. Au textură variată şi sunt bogate în nutrienți datorită depunerilor aluvionare, foarte fertile.

BUPT

În bazinul Crişului Alb, aluviosolurile au fost identificate pe 48.284 ha (11% din total), la altitudini joase, de-a lungul cursurilor de apă (Figura 4.6).

Cernoziomurile, soluri foarte fertile, bogate în materie organică, au textură fină şi capacitate mare de reţinere a apei.

În zoona de studiu, cernoziomurile au fost identificate pe suprafaţa totală de 61.834 ha (15% din total) şi predomină în zonele de câmpie, la altitudini joase (Câmpia Crişurilor, Câmpia Mureşului).

Rendzinele sunt soluri formate pe substraturi calcaroase, bogate în calciu. Au textură loessoidă, pH alcalin şi conţinut moderat de materie organică.

Rendzinele au fost identificate pe suprafaţa de 1.536 ha (sub 1% din tota) la altitudini mari şi medii, în Munţii Codru-Moma şi zonele cu roci carstice.

Eutricambosolurile sunt soluri cu un conţinut echilibrat de nutrienţi, formate în condiţii de climă temperată; au pH neutru până la slab acid, textură variată şi conţinut de humus moderat [42].

Eutricambosolurile au fost identificate pe 83.160 ha (20% din suprafaţa bazinală), la altitudini medii şi joase, în special, în Dealurile Cigherului şi Câmpia Crişurilor.

Districambosolurile sunt soluri acide, cu un profil bine dezvoltat, pH acid, conţinut moderat de humus şi textură variată.

În bazinul Crişului Alb, districambosolurile, caracteristice zonelor de pădure, au fost identificate pe 59.730 ha (14% din total), la altitudini medii şi mari, din Dealurile Zarandului, Munţii Codru-Moma, etc.

Preluvosolurile sunt soluri de tranziţie între luvosoluri şi alte tipuri de soluri argiloiluviale. Se caracterizează prin pH variat şi textură argiloasă în orizontul inferior. Sunt localizate în zona dealurilor, pe suprafaţa de 9.283 ha (2% din total).

Luvosolurile sunt soluri argiloiluviale, caracterizate prin acumularea de argilă în orizontul inferior (B). Se caracterizează prin pH acid până la neutru, textură argiloasă în orizontul inferior şi conţinut redus de materie organică.

La nivelul zonei de studiu, luvosolurile au cea mai mare extindere, rspectiv 104.906 ha şi 25% din suprafaţa totală. Sunt localizate în zona dealurilor, la altitudini medii şi joase.

Planosolurile sunt soluri cu un orizont superficial bine dezvoltat şi un orizont argiloiluvial. Au textură argiloasă în orizontul inferior şi drenaj slab. Se regăsesc pe 4.659 ha (cca. 1% din total), în Câmpia Crişurilor şi dealurile adiacente.

Vertosolurile sunt soluri argiloase, care se contractă şi se dilată în funcţie de umiditate. Au textură argiloasă şi drenaj variat.

Vertosolurile se regăsesc la altitudini joase şi medii, în Câmpia Crişurilor şi în depresiuni, pe suprafaţa de 8.940 ha (2% din total).

Stagnosolurile sunt soluri care prezintă stagnare temporară a apei în orizonturile superioare, au drenaj slab şi textură variată.

În zona de studiu, stagnosolurile au fost identificate în depresiuni şi câmpii, pe 8.574 ha (2% din total).

Gleiosolurile sunt soluri hidromorfe, formate în condiţii de umiditate excesivă. Se caracterizează prin drenaj slab şi textură variată.

În zona de studiu, gleiosolurile ocupă 10.338 ha (2% din total), fiind localizate la altitudini joase până la altitudini medii, în special, în depresiuni şi lunci.

Soloneţurile sunt soluri sărăturate, cu conţinut ridicat de săruri solubile. Au pH alcalin, conţinut ridicat de săruri şi drenaj variat.

Sunt distribuite la altitudini joase şi medii, în Câmpia Crişurilor şi zonele depresionare, pe suprafaţa de 17.945 ha (4% din total).

BUPT

Anthrosolurile sunt soluri modificate semnificativ prin activităţile umane. Prezintă o varietate mare de texturi, structuri şi conţinut de materie organică, în funcţie de utilizarea specifică.

În zona de studiu, anthrosolurile (403 ha, respectiv sub 1% din total) sunt localizate în zonele de câmpie şi dealuri joase, în împrejurimile aşezărilor umane.

Dacă analizăm riscul potenţial de inundaţii şi eroziune în bazinul Crişului Alb, prin prisma caracteristicilor solurilor, se pot extrage următoarele idei [250]:

- solurile argiloase sunt dense şi compacte; ele au o capacitate de reţinere a apei foarte mare, dar, din această cauză, au şi o susceptibilitate crescută la inundaţii. Apa se infiltrează greu şi, în timpul ploilor abundente, apa poate să stagneze la suprafaţă. În acelaşi timp, din cauza structurii lor compacte, aceste soluri sunt mai rezistente la eroziune. Totuşi, odată ce eroziunea debutează, procesul poate deveni rapid şi greu de controlat.
- solurile nisipose sunt uşoare şi poroase; apa se infiltrează uşor prin ele, reducând astfel riscul de inundaţii. Totuşi, această porozitate le face foarte susceptibile la eroziune. Când vântul sau apa curge peste ele, particulele de nisip sunt uşor dislocate şi transportate, ceea ce poate duce la eroziuni severe şi rapide.
- solurile lutoase pot fi privite ca un echilibru între cele două extreme. Ele reţin suficientă apă pentru a sprijini vegetaţia, dar permit şi o infiltrare moderată, ceea ce le conferă o susceptibilitate moderată atât la inundaţii, cât şi la eroziune. În condiţii normale, aceste soluri se comportă bine, dar în condiţii extreme (ploi torenţiale sau vânturi puternice), pot deveni vulnerabile.

Analogia realizată subliniază interacţiunea complexă dintre caracteristicile fizice ale solurilor şi vulnerabilităţile lor în faţa fenomenelor naturale în bazinul hidrografic al Crişului Alb.

4.4. Evaluarea hidrografică şi istorică a bazinului râului Crişul Alb

4.4.1. Profilul hidrografic al Crişului Alb şi al afluenţilor săi

Râul Crişul Alb este unul dintre cele mai importante râuri din vestul României.

Râul Crişul Alb îşi are izvorul în Munţii Apuseni, în zona de nord a Munţilor Bihorului, la o altitudine de aproximativ 1.250 m. Traversează judeţele Hunedoara, Arad şi Bihor, parcurgând un traseu de aproximativ 234 km până la vărsarea sa în râul Tisa, pe teritoriul Ungariei.

În bazinul Crişul Alb, reţeaua hidrografică este compusă din 103 râuri (Figura 4.7), cu lungimea totală de 1667 km [23].

Râul Crişul Alb (cu lungimea de 234 m), principalul colector, drenează o suprafaţa bazinală de 4.228 km^2, prin [23]:

- 42 afluenţi de ordin II, cu lungimea totală de 694 km;
- 48 afluenţi de ordinul III, cu lungimea totală de 558 km;
- 10 afluenţi de ordinul IV, cu lungimea totală de 103 km;
- 1 afluent de ordin V (Pârâul Mic), cu lungimea de 6 km.

La acestea se adaugă Canalul Morilor, derivaţie colectoare, cu lungimea de 103 km [23]. Aceşti afluenţi contribuie semnificativ la debitul şi dinamica hidrologică a râului Crişul Alb.

Valea Crişului Alb variază în lăţime şi adâncime, cu sectoare înguste şi adânci în zonele montane (sectorul superior) şi sectoare largi şi mai puţin adânci în zonele de câmpie (sectorul inferior).

BUPT

În zonele de câmpie, râul prezintă numeroase meandre şi braţe secundare, creând un peisaj diversificat (Figura 4.8).

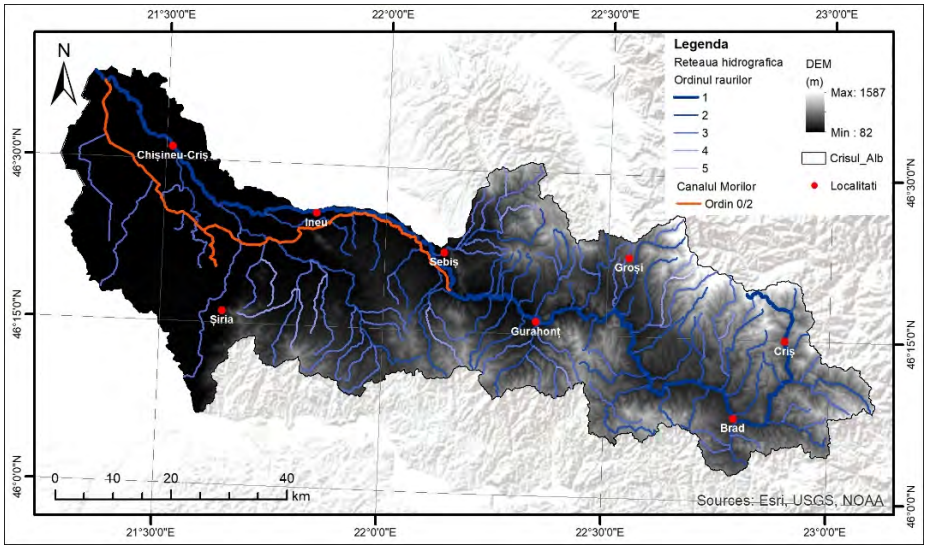


Figura 4.7. Reţeaua hidrografică – bazinul Crişul Alb (prelucrare după [23]; [133])



Figura 4.8. Sector de râu cu meandre (foto din dronă)

Debitul râului variază semnificativ în funcţie de precipitaţii şi topirea zăpezilor. Perioadele de viituri sunt frecvente primăvara şi toamna, când precipitaţiile sunt mai abundente. Râul Crişul Alb are un regim hidrologic mixt, influenţat atât de topirea zăpezilor (nival), cât şi de precipitaţiile pluviale.

Apa râului este folosită pentru irigaţii în regiunile agricole.

Râul Crişul Alb joacă un rol crucial în viaţa economică şi ecologică a regiunilor pe care le traversează. Este esenţial pentru agricultură şi industrie şi contribuie la menţinerea biodiversităţii, în zonele adiacente.

BUPT

4.4.2. Diviziuni hidrografice în bazinul Crișul Alb

Suprafaţa totală a bazinului Crişul Alb este de 422.798 ha. Conform Administraţiei Bazinale de Apă Crişuri [23], bazinul hidrografic Crişului Alb este divizat în 102 subbazine de ordin inferior (Figura 4.9). Bazinul de ordin 1, al râului Crişul Alb are suprafaţa de 70.161 ha, fiind cel mai extins din întregul spaţiu bazinal. În ordinea suprafeţelor, urmează subbazinele Matca, de ordin 3 (23.252 ha) şi Cigher, de ordin 2 (22.941 ha).

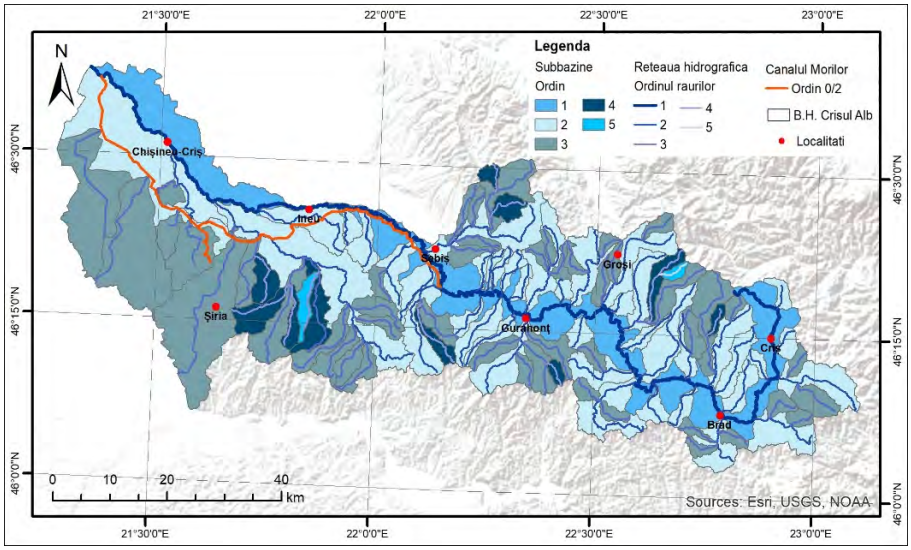


Figura 4.9. Diviziuni hidrografice (subbazine) ale bazinului hidrografic al râului Crişul Alb (prelucrare după [23];133])

Harta din figura 4.9 subliniază complexitatea bazinului hidrografic al Crișului Alb, evidențiind diversitatea subbazinelor și importanța acestora pentru gestionarea resurselor de apă.

Rețeaua hidrografică densă și distribuția echilibrată a subbazinelor de la surse până la vărsare sugerează un sistem bine interconectat, care necesită o gestionare atentă pentru a preveni riscurile hidrografice și pentru a optimiza utilizarea resurselor de apă.

4.4.3. Retrospectiva fenomenelor de risc hidrogeomorfologic

În Spaţiul Hidrografic Crişuri şi implicit în bazinul râului Crişul Alb, de-a lungul timpului, s-au produs o serie de evenimente hidrogeomorfologice importante, printre care pot fi menţionate ([23]; [250]):

- inundaţiile din anul 1970, produse pe fondul unor ploi cu caracter torenţial (debitul maxim înregistrat pe Crişul Alb, la Bocsig, a fost de 466 m^3/s);
- viiturile severe din anul 1981; acestea au afectat bazinele hidrografice, inclusiv Crișul Alb, din cauza precipitațiilor intense și a topirii zăpezilor; viiturile au fost considerate de o frecvență rară, cu o perioadă de repetare de 100 de ani;

BUPT

- inundaţiile din anul 1995, produse ca urmare a unor viituri cu niveluri remarcabile, ca urmare a topirii bruşte a zăpezii şi pe fondul căderii unor cantităţi mari de precipitaţii;

- inundaţiile din anul 2000 (Râul Crişul Alb şi Cigher), prin producerea unor viituri în perioada de primăvară, datorate topirii zăpezii şi alimentării pluviale şi subterane; aceste fenomene au afectat populaţia umană, gospodăriile, terenurile agricole, dar şi infrastructura de transport;

- în anul 2005, în urma inundațiilor masive, au fost raportate alunecări de teren în zonele montane și colinare din bazinul Crișului Alb. Umezeala excesivă a dus la destabilizarea versanților, provocând alunecări care au afectat terenurile agricole și infrastructura locală;

- inundaţiile din anul 2006; un alt episod major de inundații a avut loc în primăvară, afectând în mod special localitățile situate de-a lungul râului. Inundațiile au fost cauzate de precipitații abundente combinate cu topirea rapidă a zăpezilor;

- în anul 2008, au fost raportate alunecări de teren în anumite localități din bazinul hidrografic, amplificând problemele cauzate de inundații;

- în anul 2014, s-au produs viituri rapide și inundații locale, cu efecte asupra infrastructurii și gospodăriilor.

Pe lângă evenimentele majore menţionate, la nivelul bazinului, se produc anual viituri şi inundaţii, de amploare mai redusă, dar care afectează mediul şi populaţia la nivel local. Acestea se manifestă, cu precădere acolo unde lipsesc sau sunt ineficiente lucrările de amenajări hidrotehnice şi de Îmbunătăţiri funciare.



Figura 4.10. Sectoare cu risc de inundaţii (foto original)

Istoricul fenomenelor de risc în bazinul Crișului Alb subliniază necesitatea unei gestionări atente și proactive a resurselor hidrografice și a măsurilor de protecție împotriva dezastrelor naturale. Evenimentele repetate de inundații și alunecări de teren evidențiază vulnerabilitatea regiunii și importanța intervențiilor de prevenire și gestionare a riscurilor.

În concordanţă cu specificul bazinului râului Crişul Alb, pentru gestionarea fenomenelor de risc, recomandăm implementarea unui set de măsuri care să includă: construirea și întreținerea digurilor și a barajelor; implementarea sistemelor de avertizare timpurie pentru inundații şi proiecte de reabilitare a zonelor afectate de alunecări de teren.

BUPT

4.4.4. Analiza istorică a lucrărilor de Îmbunătăţiri Funciare

Bazinul hidrografic al Crişului Alb a fost obiectul unor numeroase lucrări de îmbunătățiri funciare, având scopul de a gestiona eficient resursele de apă, de a preveni inundațiile și alunecările de teren și de a sprijini activitățile agricole și industriale.

În perioada interbelică și imediat după al Doilea Război Mondial, accentul a fost pus pe lucrările de desecare și regularizare a râurilor pentru a controla inundațiile frecvente. Proiectele majore au inclus şi bazinul Crişului Alb şi au vizat [23]:

- canalizarea râurilor și afluenților, respectiv construirea de canale pentru a dirija fluxurile de apă;
- construirea parţială a digurilor; acestea au fost ridicate de-a lungul râurilor principale pentru a proteja terenurile agricole și localitățile de inundații.

Proiectele erau în mare parte rudimentare, dar esențiale pentru prevenirea inundațiilor frecvente.

Perioada 1960-1980 se caracterizează printr-o intensificare a eforturilor de îmbunătățiri funciare, cu o abordare sistematică și integrată. În această perioadă, s-au executat:

- proiecte de irigații; au fost dezvoltate sisteme de irigații pentru a sprijini agricultura intensivă, inclusiv construirea de rezervoare și stații de pompare;
- îmbunătățiri ale solului; lucrările au inclus ameliorarea solurilor sărăturate și drenarea terenurilor mlăștinoase.

În perioada 1990-2000, după Revoluția din 1989, atenția s-a mutat spre modernizarea și reabilitarea infrastructurilor existente. Proiecte de reabilitare a digurilor și de extindere a rețelelor de canale de irigație au fost implementate, cu sprijin internațional și fonduri europene.

După anul 2000, tehnologiile moderne au fost integrate în gestionarea resurselor de apă. Au fost instalate sisteme de monitorizare și avertizare timpurie pentru inundații și s-au realizat proiecte de reabilitare ecologică a zonelor umede, având ca scop refacerea echilibrului natural și protecția biodiversității.

Lucrările de îmbunătățiri funciare au avut un impact semnificativ asupra agriculturii și securității comunităților din bazinul Crișului Alb. Cu toate acestea, provocările continuă, în special în contextul schimbărilor climatice și al necesității de a echilibra dezvoltarea economică cu protecția mediului [211].

Analiza istorică a lucrărilor de îmbunătățiri funciare în bazinul Crișului Alb evidențiază evoluția abordărilor și tehnologiilor utilizate pentru gestionarea resurselor de apă și protecția mediului. Aceste lucrări rămân esențiale pentru dezvoltarea durabilă a regiunii și pentru adaptarea la provocările viitoare.

4.5. Tendințe și proiecții în utilizarea terenurilor

Bazinul Crișului Alb, situat în vestul României, este caracterizat printr-o diversitate ecologică și geografică semnificativă, influențând în mod direct utilizarea terenului. Activitățile agricole, industriale și de conservare a mediului din această regiune necesită o înțelegere profundă a modului în care terenul a fost utilizat și cum se modifică acesta în timp.

Analiza modului de utilizare a terenului şi a dinamicii sale spaţio-temporale, în bazinul Crişului Alb, este esențială pentru gestionarea eficientă și durabilă a resurselor naturale, influențând direct planificarea agricolă, controlul eroziunii solului, gestionarea resurselor de apă și conservarea biodiversității. Utilizarea tehnologiilor

BUPT

moderne, cum ar fi teledetecția și GIS, alături de studii de caz și modelare, permite dezvoltarea unor strategii de îmbunătățiri funciare adaptate specificităților locale, asigurând astfel o dezvoltare durabilă și echilibrată a regiunii.

4.5.1. Analiza dinamicii terenurilor în intervalul 1990 – 2018

Sub aspectul repartiţiei teritoriale a claselor de utilizare a terenului, jumătatea estică a teritoriului analizat, cuprinzând zona montană şi de deal înalt, este dominată de păduri, iar în jumătatea vestică, suprapusă zonelor de câmpie şi dealuri joase, predomină terenurile arabile (Figura 4.11).

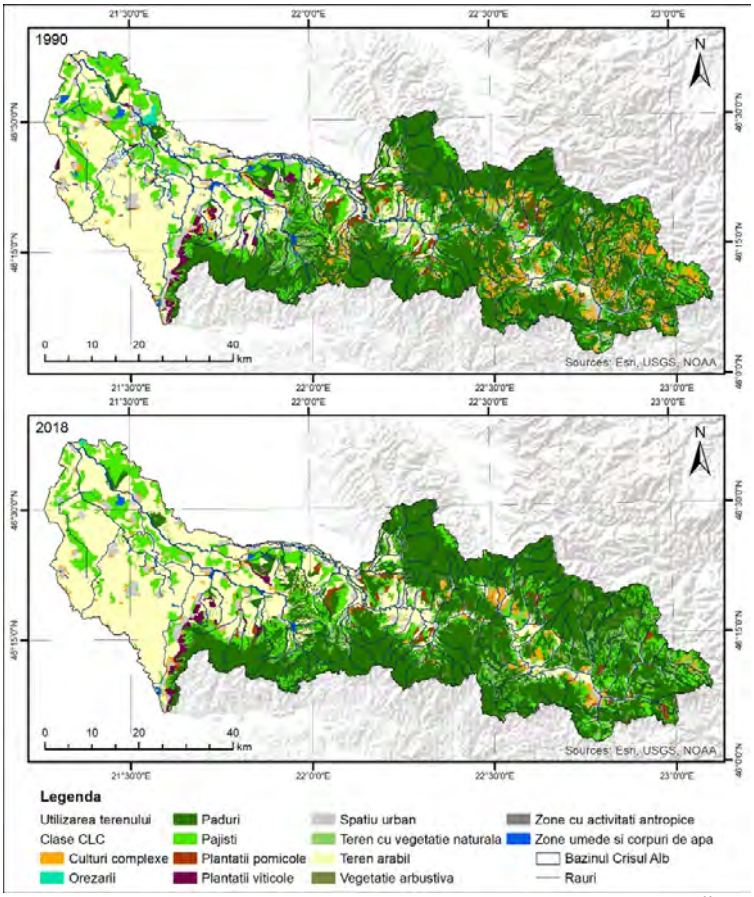


Figura 4.11. Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb (prelucrare după [133]; [76])

Din 1990 până în 2018, regiunea a înregistrat schimbări semnificative în utilizarea terenurilor, în special cu creșteri ale zonelor împădurite. Există, de asemenea, o schimbare notabilă către mai multă vegetație naturală și ușoare creșteri ale plantațiilor pomicole. Pajiștile sunt distribuite pe tot cuprinsul regiunii în ambele perioade, deși pare să existe o reducere în unele zone până în 2018, posibil din cauza

BUPT

reîmpăduririi sau conversiei în alte utilizări ale terenului. Terenul arabil ocupă partea vestică, în special, în zonele de câmpie şi prezintă o creştere până în 2018.

Cele două hărţi din figura 4.11 evidenţiază natura dinamică a utilizării terenurilor pe parcursul a aproape trei decenii, reflectând politicile de mediu, practicile agricole și tendințele de dezvoltare urbană.

Pentru o analiză detaliată, cantitativă, a modificărilor produse pe parcursul intervalului analizat, datele au fost segmentate în cinci momente temporale (Figura 4.12), fiind astfel evidenţiate atât modificările produse în interiorul intervalului, cât şi pe întreaga perioadă analizată.

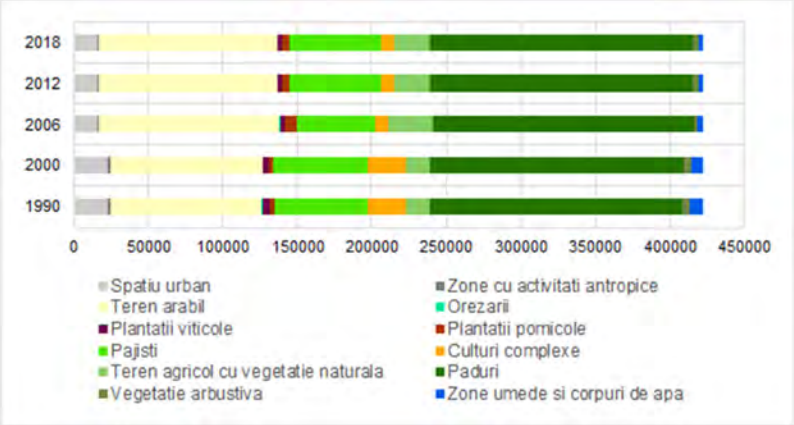


Figura 4.12. Dinamica suprafeţelor claselor de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb, în perioada 1990 - 2018

Figura 4.12 prezintă evoluția utilizării terenurilor în bazinul Crişul Alb pe parcursul anilor 1990, 2000, 2006, 2012 și 2018. Principalele schimbări se referă la:

- spațiul urban - rămâne constant între 1990 și 2000, urmează o scădere semnificativă în 2006 și o ușoară creștere până în 2012 și 2018;
- zonele cu activități antropice se mențin constante între 1990 și 2000, urmează o scădere semnificativă în 2006 și rămân relativ constante până în 2018;
- terenul arabil prezintă o creștere de la 1990 până în 2006, urmată de o ușoară scădere în 2012 și se menține constantă până în 2018;
- plantațiile viticole scad constant de la 5.088 ha în 1990, la 3.309 ha, în 2012 și rămân constante până în 2018;
- plantațiile pomicole fluctuează, scăzând de la 3.165 ha în 1990, la 2.924 ha, în 2000, apoi crescând la 7.303 ha în 2006 și scăzând la 4.972 ha în 2012 și 2018;
- pajiștile, de asemenea prezintă fluctuații, crescând de la 61.690 ha în 1990, la 62.771 ha în 2000, apoi scăzând la 53.008 ha în 2006 și revenind la 61.202 ha, în 2012 și 2018;
- culturile complexe prezintă o scădere în 2006, urmată de o creștere în 2012 și menținându-se constante în 2018;
- terenurile agricole cu vegetație naturală cresc semnificativ în 2006, ascensiune urmată de o scădere în 2012 și menținându-se constante în 2018;
- pădurile prezintă o creștere constantă pe parcursul perioadei, de la 170.024 ha în 1990 la 176.113 hectare în 2018;
- vegetația arbustivă fluctuează, scăzând de la 4.951 ha în 1990, la 2.324 ha, în 2006, apoi crescând la 4.534 ha în 2012 și scăzând la 4.078 ha în 2018;

BUPT

- zonele umede şi corpurile de apă scad constant de la 8.603 ha, în 1990, la 3.024 ha în 2012 şi rămân constante până în 2018.

Această dinamică reflectă schimbări în politicile de utilizare a terenului, priorităţi economice şi posibile eforturi de conservare şi reîmpădurire.

Pentru a reflecta modificările produse pe întreg intervalul analizat (1990 – 2018) şi pentru a identifica natura schimbărilor produse, cele două seturi de date de utilizare a terenului au fost analizate prin matricea tranziţiilor (Tabelul 4.1).

Tabelul 4.1

Matricea tranziţiilor în modul de utilizare a terenului, în perioada 1990 - 2018

2018 / 1990	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1	15387	21	556	0	21	308	971	1822	2855	470	91	8	22510
2	171	378	334	0	0	0	152	621	17	0	61	8	1743
3	82	52	97931	146	19	130	2320	356	488	51	1	105	101680
4	0	0	842	0	0	0	18	31	0	0	0	0	890
5	58	0	1020	0	2726	409	64	445	307	25	34	0	5088
6	1	0	159	0	0	2034	311	113	469	78	0	0	3165
7	187	22	6055	0	222	571	44715	834	3849	4039	1139	58	61690
8	164	13	2591	0	170	1226	6980	3783	8284	2174	821	33	26239
9	57	0	6950	0	113	183	3386	822	3557	575	224	46	15912
10	51	0	200	0	26	103	1051	73	1037	166500	982	0	170024
11	1	0	290	0	0	7	408	227	1263	2075	679	0	4951
12	68	2	2902	0	12	0	828	132	1721	126	46	2767	8603
Total	16227	488	119830	146	3309	4972	61202	9258	23847	176113	4078	3024	422495

Legendă: 1- Spaţiu urban; 2 - Zone cu activităţi antropice; 3 - Teren arabil; 4 – Orezării; 5 - Plantaţii viticole; 6 - Plantaţii pomicole; 7 – Pajişti; 8 - Culturi complexe; 9 - Teren agricol cu vegetaţie naturală; 10 – Păduri; 11 - Vegetaţie arbustivă; 12 - Zone umede şi corpuri de apă

Matricea tranziţiilor oferă informaţii detaliate despre modul în care s-au schimbat utilizările terenurilor din bazinul Crişul Alb între anii 1990 şi 2018. Analiza se concentrează pe cele mai importante tranziţii:

1. Spaţiu urban:

- se menţine pe suprafaţa de 15.387 ha;
- câştiguri semnificative de suprafaţă de 840 ha;
- pierderi semnificative de suprafaţă de 7.123 ha, cele mai importante spre terenuri agricole cu vegetaţie naturală (2.855 ha) şi culturi complexe (1.822 ha);
- schimbarea netă: -6.283 ha;

2. Zone cu activităţi antropice:

- se menţin pe suprafaţa de 378 ha;
- câştiguri semnificative de suprafaţă de 110 ha;
- pierderi semnificative de suprafaţă de 1.366 ha, cele mai importante spre culturi complexe (621 ha) şi teren arabil (334 ha);
- schimbarea netă: -1.256 ha;

3. Teren arabil:

- se menţin pe suprafaţa de 97.931 ha;
- câştiguri semnificative de suprafaţă de 21.899 ha, în special de la terenuri agricole cu vegetaţie naturală (6.950 ha) şi pajişti (6.055 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 3.749 ha, în deosebi spre pajişti (2.320 ha);
- schimbarea netă: 18.150 ha;

4. Orezării:

- câştiguri de suprafaţă de 146 ha, de la teren arabil;
- pierderi de suprafaţă de 890 ha, spre teren arabil (846 ha);
- schimbarea netă: -744 ha;

BUPT

5. Plantaţii viticole:

- se menţin pe suprafaţa de 2.726 ha;
- câștiguri de suprafaţă de 584 ha, în special de la pajişti (222 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 2.362 ha, cele mai importante spre teren arabil (1.020 ha);
- schimbarea netă: -1.778 ha;

6. Plantaţii pomicole:

- se menţin pe suprafaţa de 2.034 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 2.938 ha, în special de la culturi complexe (1.226 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 1.131 ha, cele mai importante spre teren agricol cu vegetaţie naturală (469 ha);
- schimbarea netă: 1.807 ha;

7. Pajişti:

- se menţin pe suprafaţa de 44.715 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 16.488 ha, în special de la culturi complexe (6.980 ha), terenuri agricole cu vegetaţie naturală (3.386 ha) şi teren arabil (2.320 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 16.975 ha, spre teren arabil (6.055 ha), păduri (4.039 ha) şi teren agricol cu vegetaţie naturală (3.849 ha);
- schimbarea netă: -487 ha;

8. Culturi complexe:

- se menţin pe suprafaţa de 3.783 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 5.475 ha, în special de la spaţiu urban (1.822 ha) şi pajişti (834 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 22.456 ha, în special spre teren agricol cu vegetaţie naturală (8.284 ha), pajişti (6.980 ha) şi teren arabil (2.591 ha);
- schimbarea netă: -16.981 ha;

9. Teren agricol cu vegetaţie naturală:

- se menţin pe suprafaţa de 3.557 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 20.290 ha, în special de la culturi complexe (8.284 ha) şi pajişti (3.849 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 12.355 ha, cele mai importante spre teren arabil (6.950 ha) şi pajişti (3.386 ha);
- schimbarea netă: 7.935 ha;

10. Păduri:

- se menţin pe suprafaţa de 166.500 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 9.613 ha, în special de la pajişti (4.039 ha) şi culturi complexe (2.174 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 3.524 ha, cele mai mari suprafeţe fiind trecute spre pajişti (1.051 ha) şi vegetaţie arbustivă (982 ha);
- schimbarea netă: 6.089 ha;

11. Vegetaţie arbustivă:

- se menţine pe suprafaţa de 679 ha;
- câștiguri semnificative de suprafaţă de 3.399 ha, în special de la pajişti (1.139 ha) şi păduri (982 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 4.272 ha, cele mai importante spre păduri (2.075 ha) şi teren agricol cu vegetaţie naturală (1.263 ha);
- schimbarea netă: -873 ha;

12. Zone umede şi corpuri de apă:

- se menţin pe suprafaţa de 2.767 ha;

BUPT

- câștiguri semnificative de suprafaţă de 258 ha, în special de la teren arabil (105 ha);
- pierderi semnificative de suprafaţă de 5.837 ha, în deosebi spre teren arabil (2.902 ha) şi teren agricol cu vegetaţie naturală (1.721 ha);
- schimbarea netă: -5.579 ha.

Tendința generală în evoluția modului de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb între anii 1990 și 2018 este caracterizată printr-o conversie semnificativă a terenurilor naturale și complexe către utilizări agricole mai intensive, cu terenul arabil înregistrând cea mai mare creștere netă. În același timp, s-au înregistrat pierderi substanțiale în suprafața zonelor urbane, culturilor complexe și zonelor umede, indicând o transformare semnificativă a peisajului agricol și urban al regiunii. Acest lucru reflectă presiuni economice și de dezvoltare care favorizează extinderea terenurilor agricole în detrimentul altor utilizări ale terenurilor.

Schimbările reflectă o dinamică complexă a utilizării terenurilor, influențată de factori economici, politici și de conservare.



Figura 4.13. Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb (foto dronă)

Pe lângă modificările spaţio-temporale în modul de utilizare a terenului menţionate anterior, pot fi discutate şi schimbările produse în albiile minore ale râurilor (Figura 4.14), subiect important în domeniul hidrologiei și geomorfologiei, având implicații semnificative asupra ecosistemelor riverane, gestionării resurselor de apă și planificării teritoriale.

Albiile minore ale râurilor suferă schimbări în timp şi spaţiu, sub acţiunea unor factori naturali (eroziunea și sedimentarea, fluctuațiile de debit, cutremure, alunecări de teren, etc) şi/sau antropici (construirea barajelor, regularizarea cursurilor de apă, urbanizarea, practicile agricole, etc).

De asemenea, pot fi menţionate mai multe procese prin care albiile râurilor se schimbă în timp şi spaţiu: eroziunea laterală (implică îndepărtarea materialelor de pe malurile râurilor, ceea ce duce la lărgirea albiilor), migrarea albiilor (lateral sau longitudinal, în funcție de echilibrul dinamic dintre procesele de eroziune și sedimentare) sau incizarea albiilor (adâncirea albiilor apare ca rezultat al schimbărilor în debitul râurilor și al modificărilor transportului de sedimente.

BUPT

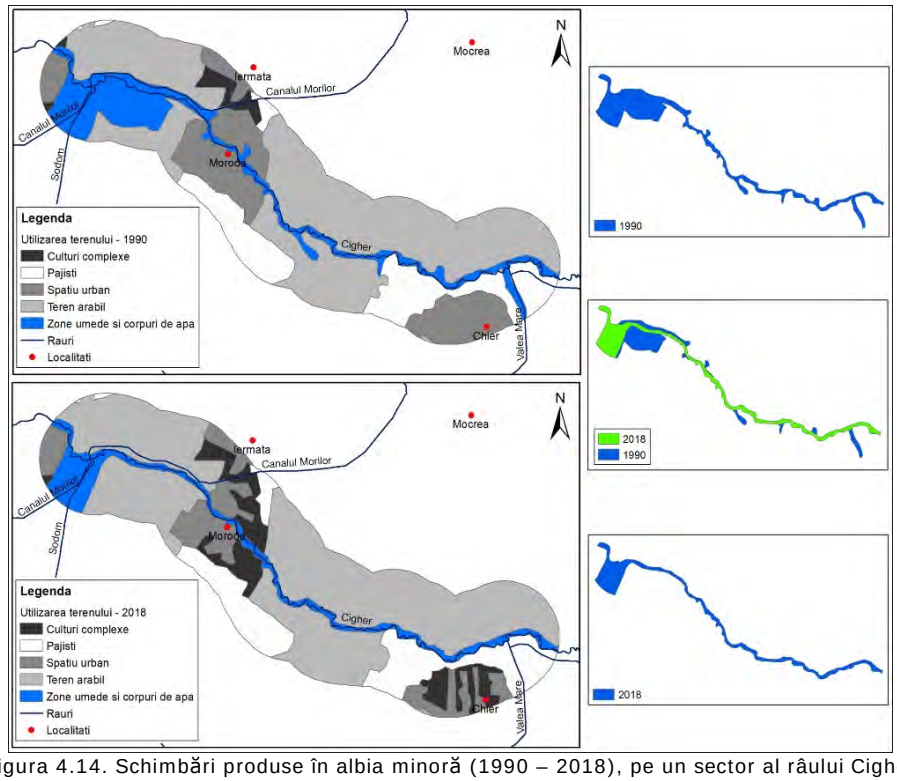


Figura 4.14. Schimbări produse în albia minoră (1990 – 2018), pe un sector al râului Cigher

Schimbările în albiile minore ale râurilor au o gamă largă de efecte asupra mediului și economiei, precum impactul asupra biodiversității, amplificarea riscului de inundații sau dificultăţi în gestionarea resurselor de apă.

4.5.2. Predicţii privind modul de utilizare a terenurilor în anul 2035. Scenarii și tendințe

Generarea scenariilor și previziunilor asupra schimbărilor modului de utilizare a terenurilor, în bazinul Crişului Alb, este esențială pentru a înțelege și gestiona impactul pe termen lung al activităților umane și naturale asupra mediului fizic şi economic.

Pentru a face previziuni asupra schimbărilor în modul de utilizare a terenului, la nivelul bazinului Crişul Alb, a fost utilizat software-ul TerrSet, modulul Land Change Modeler [104].

Generarea scenariilor presupune mai multe etape de lucru. Pregătirea datelor şi analiza schimbărilor în modul de utilizare a terenului au fost făcute în etapele anterioare ale cercetărilor. Următoarea etapă este reprezentată de identificarea tendinţelor.

Identificarea tendinţelor (tranziţiilor) presupune selectarea schimbărilor relevante produse în modul de utilizare a terenului. În zona de studiu, în acest sens, au fost reţinute cinci tendinţe de schimbări majore (Figura 4.15), după cum urmează: (1) Culturi complexe – Pajişti; (2) Culturi complexe - Teren agricol cu vegetaţie

BUPT

naturală; (3) Pajişti – Păduri; (4) Pajişti - Teren arabil şi (5) Teren agricol cu vegetaţie naturală - Teren arabil.

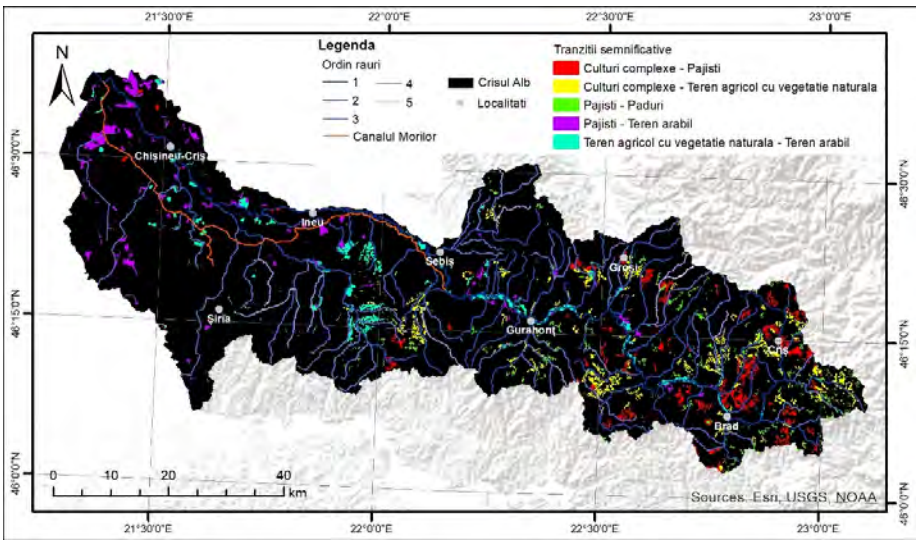


Figura 4.15. Harta celor mai semnificative tranziţii în modul de utilizare a terenului

Modelarea schimbărilor viitoare, a presupus: definirea variabilelor de predicţie, respectiv cele care influenţează schimbările de utilizare a terenurilor; s-au luat în considerare Modelul Digital de Elevaţie, panta terenului, distanţa faţă de râuri şi distanţa faţă de drumuri, aceste variabile au fost integrate, pentru antrenarea modelului de predicţie, în Land Change Modeler, modul care foloseşte algoritmi de învăţare automată, respectiv reţelele neuronale (MLP).

Pe baza variabilelor selectate şi a hărţilor de utilizare a terenului (pe baza cărora s-au stabilit cele cinci scenarii, respectiv sub-modele de predicţie), s-a aplicat algoritmul definit de program, cu ajustarea parametrilor specifici.

A rezultat harta modului de utilizare a terenului prognozat pentru anul 2035 (Figura 4.16).

Pe baza hărţilor din figura 4.16 şi a datelor sintetizate în tabelul 4.2, se preconizează, până în anul 2035, următoarele schimbări în modul de utilizare a terenului, la nivelul bazinului Crişul Alb:

- creşterea terenului arabil; această categorie va înregistra o posibilă creştere semnificativă de 12.273 ha, echivalentă cu o creştere procentuală relativă de 10.24%. Aceasta sugerează o extindere a suprafeţelor destinate agriculturii intensive;
- scăderea suprafeţelor de pajişti; acestea se vor reduce cu 3.656 ha, reprezentând o scădere procentuală relativă de 5.97%. Această situaţie poate indica o conversie a pajiştilor în alte tipuri de utilizări ale terenului, posibil teren arabil pentru culturi de câmp sau transformarea acestora în păduri, prin abandon;
- scăderea suprafeţelor destinate culturilor complexe; suprafaţa culturilor complexe va scădea drastic cu 5.908 hectare, o scădere procentuală relativă de 63.82%. Aceasta ar putea reflecta o schimbare majoră în practicile agricole sau în priorităţile de utilizare a terenului;

BUPT

- scăderea terenurilor agricole cu vegetație naturală: acestea vor scădea cu 5.178 ha, adică 21.71%. Aceasta poate fi un indiciu al transformării acestor terenuri în suprafețe agricole productive sau alte utilizări antropice;

- creșterea suprafaței împădurite; suprafața pădurilor va crește cu 2.390 ha, o creștere relativă redusă, de 1.36%. Acest lucru sugerează un interes crescut pentru conservarea mediului și reîmpădurire.

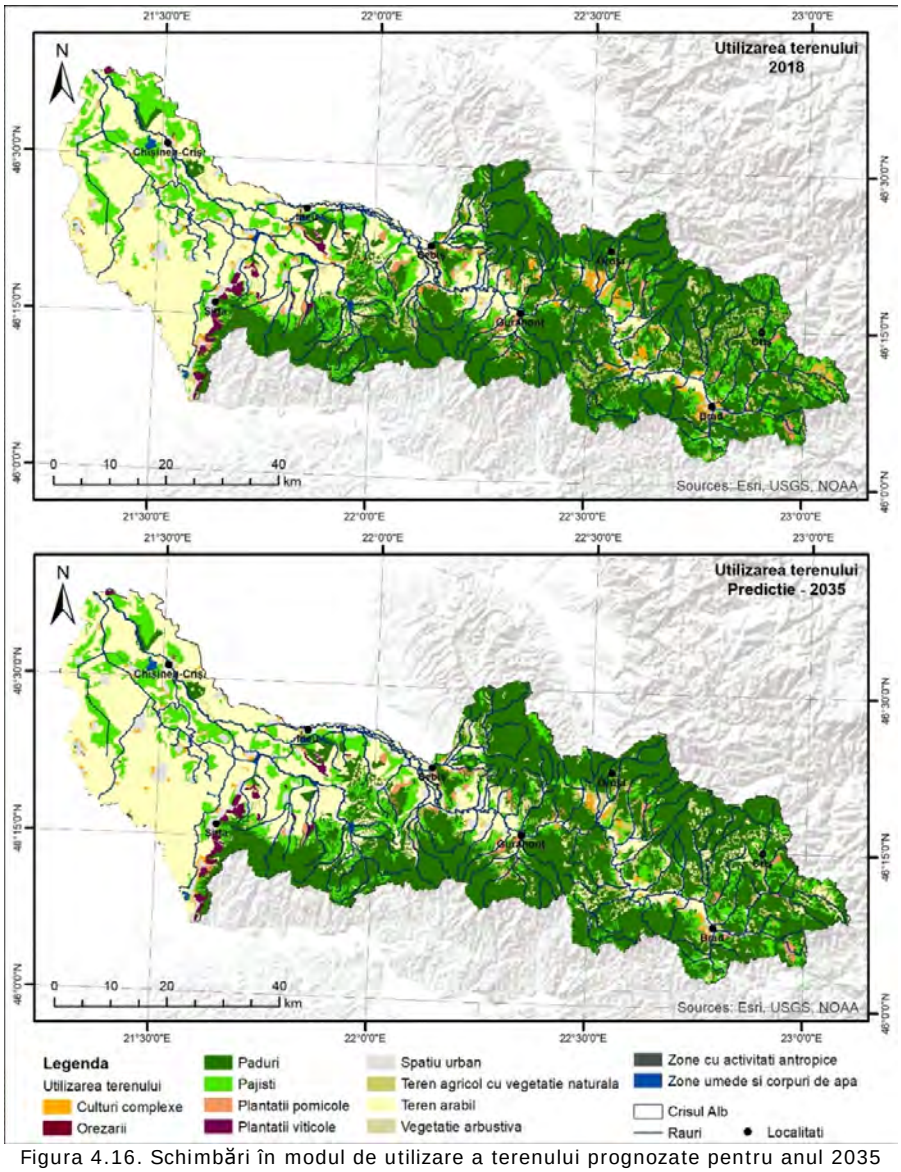


Figura 4.16. Schimbări în modul de utilizare a terenului prognozate pentru anul 2035

BUPT

Tabelul 4.2
Evaluarea cantitativă prognozată pentru modul de utilizare a terenului până în anul 2035

Clase de utilizare a terenului	Suprafaţa (ha) în anul			Diferenţa 2018 – 2035 (ha)	Variaţia relativă (%)
	1990	2018	2035		
Spatiu urban	22510	16227	16217	-10	-0.06
Zone cu activitati antropice	1743	488	488	0	0.00
Teren arabil	101680	119830	132103	12273	10.24
Orezarii	890	146	127	-19	-12.99
Plantatii viticole	5088	3309	3309	0	-0.01
Plantatii pomicole	3165	4972	4971	-1	-0.02
Pajisti	61690	61202	57546	-3657	-5.97
Culturi complexe	26239	9258	3350	-5908	-63.81
Teren agricol cu vegetatie naturala	15912	23847	18669	-5178	-21.72
Paduri	170024	176113	178503	2390	1.36
Vegetatie arbustiva	4951	4078	4073	-5	-0.13
Zone umede si corpuri de apa	8603	3024	3025	0	0.01
Total (ha)		422495			

Alte categorii, cum ar fi spaţiul urban, zonele cu activităţi antropice, plantaţiile viticole, plantaţiile pomicole, vegetaţia arbustivă şi zonele umede şi corpurile de apă, vor înregistra schimbări minore sau inexistente.

Până în anul 2035, se anticipează o tendinţă de creştere a terenului arabil şi a suprafeţei împădurite, concomitent cu o reducere a pajiştilor, culturilor complexe şi a terenurilor agricole cu vegetaţie naturală.

Schimbările sugerează o intensificare a activităţilor agricole şi o atenţie sporita asupra reîmpăduririi şi conservării mediului.

Această prognoză permite factorilor de decizie, locali şi regionali, dar şi potenţialilor investitori [250]:

1. Să anticipeze impacturile negative şi pozitive; prin identificarea tendinţelor de conversie a terenurilor, autorităţile pot anticipa potenţialele probleme, cum ar fi pierderea biodiversităţii, degradarea solului sau scăderea resurselor de apă şi pot lua măsuri preventive;

2. Să planifice utilizarea durabilă a terenurilor; scenariile oferă o bază solidă pentru planificarea pe termen lung, asigurându-se că utilizarea terenurilor este în armonie cu obiectivele de dezvoltare durabilă, conservare a mediului şi nevoile economice ale comunităţii;

3. Să optimizeze alocarea resurselor; înţelegerea modului în care terenurile ar putea fi utilizate în viitor ajută la alocarea eficientă a resurselor pentru agricultură, dezvoltare urbană, conservarea habitatelor naturale şi alte utilizări;

4. Să elaboreze reglementări; previziunile fundamentate pe scenarii ajută la elaborarea de politici şi reglementări care să ghideze utilizarea terenurilor în moduri care să minimizeze conflictele de utilizare şi să promoveze bunăstarea generală;

5. Să informeze comunităţile locale despre potenţialelor schimbări;

Generarea de scenarii ajută la înţelegerea modului în care schimbările climatice pot influenţa utilizarea terenurilor şi la dezvoltarea de strategii de adaptare pentru a reduce vulnerabilitatea sistemelor ecologice şi economice.

4.5.3. Analiza impactului schimbărilor în utilizarea terenurilor

Schimbările în utilizarea terenurilor din bazinul Crişul Alb, între 1990 şi 2018, au avut un impact semnificativ asupra fondului funciar şi implicit asupra acţiunilor de îmbunătăţiri funciare.

BUPT

Analiza acestui impact din perspectiva îmbunătățirilor funciare şi a organizării teritoriului, poate fi făcută pe mai multe dimensiuni:

1. Creșterea suprafețelor împădurite și reîmpădurirea

Creșterea constantă a suprafeței pădurilor (cu 6.089 ha net) indică un efort susținut de reîmpădurire și conservare a vegetației naturale. Aceasta poate duce la:

- stabilizarea solurilor și reducerea eroziunii;
- îmbunătățirea calității aerului și a apei prin filtrarea poluanților;
- creșterea biodiversității și oferirea de habitate pentru fauna sălbatică;
- reglarea regimului hidrologic și prevenirea inundațiilor.

2. Conversia terenurilor agricole

Creșterea suprafeţelor terenurilor arabile (cu 18.150 ha net) reflectă o intensificare a agriculturii, care poate avea atât efecte pozitive, cât și negative:

Efecte pozitive:

- creșterea producției agricole și a securității alimentare;
- posibilitatea utilizării unor practici agricole moderne și sustenabile;

Efecte negative:

- creșterea riscului de degradare a solului prin monocultură și practici intensive;
- poluarea apei prin utilizarea excesivă a fertilizanților și pesticidelor;
- pierderea biodiversității şi reducerea habitatelor naturale.

3. Scăderea zonelor umede și a corpurilor de apă

Scăderea semnificativă a zonelor umede (cu 5.579 ha net) este problematică, din diferite puncte de vedere.

Efecte negative:

- reducerea capacității de stocare a apei, ceea ce poate accentua inundațiile;
- pierderea habitatelor pentru speciile acvatice și de păsări;
- degradarea calității apei prin reducerea zonelor de filtrare naturală.

Măsuri ce se impun:

- restaurarea zonelor umede și implementarea unor proiecte de management integrat al resurselor de apă.

4. Fluctuațiile terenurilor pomicole și viticole

În zona analizată, plantațiile pomicole și viticole au înregistrat fluctuații semnificative:

Efecte pozitive:

- diversificarea culturilor poate contribui la o agricultură mai sustenabilă;
- reorientarea către culturi perene poate reduce eroziunea solului și stabiliza terenurile.

Efecte negative:

- necesitatea unor investiții constante în tehnologie și infrastructură pentru a menține productivitatea;
- vulnerabilitatea la schimbările climatice și la fluctuațiile pieței.

5. Reducerea spațiilor urbane și a zonelor cu activități antropice

Reducerea spațiilor urbane (cu 6.283 ha net) și a zonelor cu activități antropice (cu 1.256 ha net) poate indica:

Efecte pozitive:

- posibilitatea reconfigurării și modernizării infrastructurii urbane;
- creşterea calității vieții - reducerea aglomerării urbane și creșterea spațiilor verzi.

Efecte negative:

- necesitatea de planificare urbană eficientă pentru a face față presiunilor demografice și economice.

BUPT

- pierderi economice și sociale pe termen scurt datorate relocalizării activităților.

6. Fluctuațiile vegetației arbustive și a terenurilor cu vegetație naturală

Acestea au înregistrat atât câștiguri, cât și pierderi, indicând o dinamică complexă a gestionării terenurilor:

Efecte pozitive:

- vegetația arbustivă și terenurile agricole cu vegetație naturală pot contribui la crearea unor zone tampon care să protejeze împotriva eroziunii și a poluării.

Efecte negative:

- schimbările rapide pot duce la instabilitate ecologică și dificultăți în gestionarea peisajului agricol.

Schimbările în utilizarea terenurilor în bazinul Crișul Alb reflectă o complexitate de factori economici, politici și de conservare.

Deși există, în unele zone, anumite infrastructuri de îmbunătățiri funciare, acestea trebuie gestionate cu atenție (eventual redimensionate) pentru a echilibra nevoile economice și de dezvoltare regională, în concordanţă cu protecția mediului și conservarea resurselor naturale.

Măsuri suplimentare de management durabil al terenurilor și de restaurare ecologică sunt esențiale pentru a maximiza beneficiile și a minimiza impactele negative ale acestor schimbări.

4.6. Concluzii şi discuţii

Prin utilizarea tehnicilor GIS și de teledetecție, pentru bazinul Crișului Alb a fost dezvoltat un model complex de analiză, care abordează în profunzime multiple aspecte ale mediului fizico-geografic, hidrografiei, utilizării terenurilor și prognozei acestora pentru viitor. Acest model integrativ permite o înțelegere detaliată a interacțiunilor dintre diferitele componente ale geosistemului și modul în care acestea evoluează sub influența activităților umane și a schimbărilor naturale.

Bazinul Crișului Alb prezintă o diversitate geografică și climatică notabilă, caracterizată de altitudini variate ce influențează semnificativ climatul local și distribuția precipitațiilor. Zonele montane, cum ar fi Munții Bihorului și Munții Metaliferi, înregistrează cele mai mari cantități de precipitații, cu valori ce depășesc 1000 mm anual, ceea ce indică un risc crescut de inundații datorită acumulării și scurgerii rapide a apei în aval. În contrast, zonele de câmpie și dealuri au precipitații mai reduse, dar pot prezenta riscuri locale de inundații și eroziune datorită particularităților solurilor și terenurilor plane.

Solurile argiloase, prezente pe o suprafață extinsă, au o capacitate mare de reținere a apei, ceea ce le face susceptibile la inundații, în timp ce solurile nisipoase, deși permit o infiltrare rapidă a apei, sunt foarte vulnerabile la eroziune. Solurile lutoase, echilibrând aceste extreme, oferă o susceptibilitate moderată la ambele riscuri, dar pot deveni problematice în condiții extreme.

Distribuția variabilă a precipitațiilor, influențată de altitudine și factori locali, accentuează riscul de inundații în zonele montane și submontane, cum ar fi Roșia Montană și Ștei. Aceste zone contribuie la creșterea debitului râurilor care curg spre localitățile din aval, accentuând riscul de inundații în aceste regiuni.

Evaluarea riscului de inundații în bazinul Crișului Alb trebuie să fie specifică fiecărei zone, luând în considerare nu doar altitudinea, ci și caracteristicile locale ale solului și climatului. Aceasta subliniază necesitatea unei analize detaliate și a

BUPT

măsurilor proactive pentru gestionarea eficientă a riscului de inundații, incluzând intervenții specifice pentru fiecare tip de sol și subzonă în parte.

Analiza hidrografică și istorică a bazinului Crișului Alb relevă importanța majoră a acestui râu și a afluenților săi pentru vestul României, atât din punct de vedere economic cât și ecologic. Crișul Alb, izvorând din Munții Apuseni, traversează județele Hunedoara, Arad și Bihor, având o lungime de aproximativ 250 km până la vărsarea în Tisa, în Ungaria. Bazinul hidrografic include 103 râuri cu o lungime totală de 1667 km și este divizat în 102 subbazine, ceea ce reflectă complexitatea și interconectivitatea sistemului hidrografic. Din punct de vedere hidrologic, Crișul Alb are un regim mixt, influențat atât de precipitații cât și de topirea zăpezilor, fapt ce conduce la viituri frecvente, în special în sezoanele de primăvară și toamnă.

Analiza detaliată a tendințelor și proiecțiilor utilizării terenurilor din bazinul Crișului Alb evidențiază un peisaj agricol și ecologic dinamic, influențat de factori economici, politici și de conservare.

Între 1990 și 2018, regiunea a cunoscut schimbări semnificative, cu o creștere a suprafețelor împădurite și arabile, în detrimentul zonelor umede, a culturilor complexe și a spațiilor urbane.

Proiecțiile pentru anul 2035 sugerează continuarea acestor tendințe, cu o extindere a terenurilor arabile și a suprafeței împădurite. Aceste schimbări reflectă presiuni economice care favorizează agricultura intensivă și reîmpădurirea, dar și provocările legate de pierderea biodiversității, degradarea solului și scăderea resurselor de apă.

Impactul acestor schimbări este complex. Creșterea suprafețelor împădurite contribuie la stabilizarea solurilor și la îmbunătățirea calității aerului și apei, în timp ce intensificarea agriculturii aduce beneficii economice, dar și riscuri ecologice.

Reducerea zonelor umede afectează capacitatea de stocare a apei și habitatele acvatice, subliniind necesitatea unor măsuri de restaurare și management integrat al resurselor de apă.

Planificarea utilizării terenurilor în bazinul Crișului Alb trebuie să fie atent gestionată pentru a echilibra nevoile de dezvoltare economică cu protecția mediului și conservarea resurselor naturale.

Strategiile durabile și de restaurare ecologică sunt esențiale pentru a minimiza impactul negativ al acestor schimbări și pentru a asigura o dezvoltare echilibrată și sustenabilă a regiunii.

BUPT

5. METODE AVANSATE DE ESTIMARE A SUSCEPTIBILITĂŢII LA INUNDAȚII BAZATE PE GIS ȘI TELEDETECȚIE, ÎN CONTEXTUL ÎMBUNĂTĂȚIRILOR FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: BAZINUL CRIȘUL ALB

Estimarea susceptibilității la inundații a unui teritoriu, bazată pe GIS și teledetecție, reprezintă un instrument esențial în managementul riscului şi implicit în domeniul îmbunătățirilor funciare, având multiple aplicații:

a. identificarea zonelor de risc; utilizând tehnologiile GIS și teledetecția, pot fi identificate cu precizie zonele susceptibile la inundații; aceasta permite autorităților și specialiștilor în îmbunătățiri funciare să prioritizeze intervențiile și să implementeze măsuri preventive eficiente;

b. planificarea măsurilor de protecție; datele obținute pot fi folosite pentru a planifica și a proiecta lucrări de îmbunătățiri funciare, cum ar fi construirea de diguri, canale de desecare (drenaj) și baraje de retenție; astfel, se poate reduce semnificativ riscul de inundații și se pot proteja terenurile agricole și infrastructura;

c. monitorizarea și evaluarea eficienței; GIS și teledetecția permit monitorizarea continuă a schimbărilor în bazinul hidrografic și evaluarea eficienței măsurilor implementate; acest lucru ajută la ajustarea strategiilor și la îmbunătățirea constantă a planurilor de gestionare a riscurilor;

d. gestionarea resurselor de apă; estimarea susceptibilității la inundații contribuie la o mai bună gestionare a resurselor de apă, asigurând un echilibru între utilizarea apei pentru irigații și necesitatea de a proteja terenurile împotriva acestora;

e. informarea și sensibilizarea publicului; informațiile detaliate despre riscurile de inundații pot fi comunicate eficient către public și fermieri, ceea ce poate duce la adoptarea de măsuri proactive la nivel local.

5.1. Scop şi obiective

Scopul cercetărilor din această secţiune a lucrării este de a aplica un model complex de analiză spațială, care integrează GIS, datele de teledetecție și Analytic Hierarchy Process (AHP), pentru a identifica şi cartografia zonele susceptibile la inundații, în bazinul hidrografic al Crișului Alb.

Obiectivul general al cercetărilor este de a dezvolta și implementa un model integrat de analiză spațială utilizând tehnici avansate de GIS, teledetecție și Analytic Hierarchy Process (AHP) pentru a identifica, cartografia și evalua zonele susceptibile la inundații în bazinul hidrografic al râului Crișul Alb, în contextul îmbunătățirilor funciare.

Dintre **obiectivele specifice** pot fi menţionate:

1. Colectarea și prelucrarea datelor spațiale:

- selectarea şi procesarea datele spațiale relevante din diverse surse, inclusiv date topografice, hidrologice și meteorologice;

BUPT

- integrarea datele de teledetecţie pentru a obține informații detaliate despre caracteristicile terenului, vegetaţie, etc;.

2. Implementarea și adaptarea modelului AHP:

- aplicarea modelului AHP pentru a evalua participarea factorilor determinanți ai susceptibilității la inundații;
- ponderarea criteriilor relevante pentru evaluarea susceptibilităţii teritoriului analizat la inundații.

3. Analiza spațială și modelarea susceptibilității la inundații:

- aplicarea tehnicilor avansate de analiză spațială în GIS pentru a clasifica teritoriul analizat, în funcţie de gradul de susceptibilitate la inundaţii;
- rafinarea modelul de susceptibilitate prin compararea rezultatelor obținute cu datele istorice privind inundațiile;
- analiza overlay – cercetarea impactului pe bazine hidrografice şi în funcţie de modul de utilizare a terenului;

4. Reprezentarea cartografică:

- generarea hărților detaliate ale zonelor susceptibile la inundaţii în bazinul hidrografic al Crișului Alb;

5. Propunerea unor măsuri de management și politici pentru reducerea riscului de inundații în zonele identificate.

5.2. Materiale şi metode

5.2.1. Materiale şi software-uri utilizate

Pentru desfăşurarea cercetărilor şi implementarea fluxului de lucru, respectiv caracterizarea teritoriului şi calculul factorilor implicaţi în estimarea susceptibilităţii la inundaţii, au fost utilizate următoarele seturi de date esenţiale:

- limita bazinală şi a subbazinelor, în format vectorial, utilizată la delimitarea zonei de studiu şi la calculul tuturor factorilor analizaţi [23];
- reţeaua hidrografică, în format vectorial, utilizată pentru caracterizarea hidrografică şi la calculul factorilor Distanţa faţă de râuri şi densitatea drenajului [23];
- Modelul Digital de Elevaţie (Digital Elevation Model - DEM), cu rezoluţia spaţială la 25 m, în format raster, utilizat pentru determinarea factorului Topographic wetness index (TWI), a factorului Elevaţie şi a factorului Pantă [115];
- precipitaţiile medii multianuale, date statistice, utilizate la determinarea factorului Precipitaţii [34];
- baza de date Corine Land Cover, ediţia 2018, date vectoriale, utilizate pentru factoru Modul de utilizare a terenului (Land use/Land cover - LULC), date disponibile pe platforma Copernicus Land Monitoring Service [76];
- imagini satelitare Sentinel 2A, cu rezoluţia spaţială la 10 m, utilizate pentru calculul Indicelui Normalizat de Diferenţiere a Vegetaţiei (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), date satelitare disponibile pe platforma Copernicus Open Acces Hub [77];
- reţeaua rutieră, în format vectorial, utilizată pentru determinarea factorului Distanţa faţă de drumuri [133];
- harta solurilor, în format vectorial, pentru generarea factorului Tipuri de sol [133];
- date auxiliare: limita de judeţ, localităţi, format vectorial [133].

Datele și informațiile științifice utilizate în cadrul cercetărilor din această secțiune au fost prelucrate prin diverse metode și software-uri, după cum urmează:

BUPT

imaginile satelitare au fost preprocesate şi procesate cu software-ul ESA SNAP 9.0.0 [311] pentru obținerea hărților NDVI; pentru prelucrarea datelor geospațiale, analize overlay și reprezentarea cartografică au fost utilizate software-urile ArcGIS 10.4 for Desktop [19] și QGIS 3.24.1 Tisler [281]; prezentarea rezultatelor a fost realizată cu ajutorul pachetului Microsoft Office 2016, iar editarea imaginilor, cu Adobe Photoshop CC 2018.

5.2.2. Metodologia de cercetare

Metodologia de cercetare este prezentată în figura 5.1. Determinarea susceptibilităţii bazinului Crişul Alb la inundaţii, a fost adaptată după modelele conceptuale bazate pe analiza deciziei multicriteriale (MCDA) şi pe Analytic Hierarchy Process (AHP). Algoritmul de lucru aplicat, în mediul GIS. reprezintă o adaptare a metodelor propuse de Hammami şi colab. (2019) [151], Swain şi colab. (2020) [328] şi platforma specializată GIS and RS Solution [137]. O parte a cercetărilor din această secţiune au fost publicate în articolul cu titlul „Estimating flood susceptibility based on GIS and remote sensing. Case study: Hydrographic Basin of Crişul Alb river", în jurnalul Present Environment and Sustainable Development (18/1, 2024) [74].

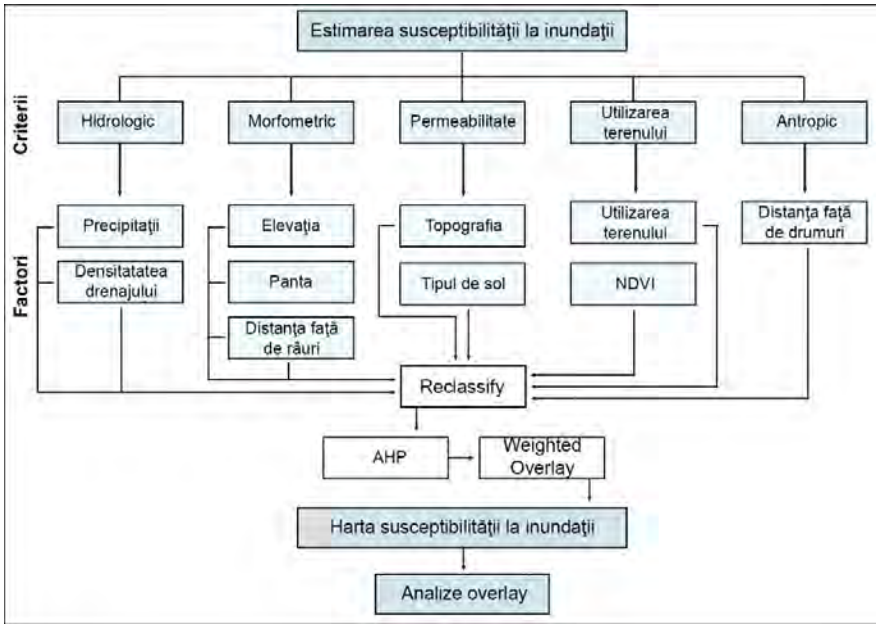


Figura 5.1. Metodologia de cercetare

În evaluarea susceptibilităţii bazinului Crişul Alb la inundaţii s-au avut în vedere cinci criterii şi zece sub-criterii (Figura 5.1), factori cu contribuţie semnificativă la producerea şi manifestarea inundaţiilor: hidrologici (precipitaţiile atmosferice şi densitatea drenajului); morfometrici (elevaţia, panta terenului şi distanţa faţă de râuri), permeabilitatea (topografia şi tipurile de sol), modul de utilizare a terenului (clase de utilizare şi gradul de acoperire cu vegetaţie) şi antropici (distanţa faţă de drumuri).

BUPT

Fiecare factor a fost exprimat sub forma unei hărţi tematice, integrată ulterior în analizele spaţiale.

Harta Factorului precipitaţii (Precipitation factor) a fost obţinută pe baza cantităţilor medii multianuale de precipitaţii (mm) înregistrate la 11 staţii meteorologice din apropierea zonei de studiu, pentru perioada 2013 - 2022. Datele statistice au fost introduse în GIS şi interpolate geostatistic prin metoda Inverse Distance Weighting (IDW).

Harta Factorului densitatea drenajului (Drainage density factor), exprimată în km/km^2, a fost generată pe baza layer-ului vectorial cu reţeaua hidrografică, prin instrumentul Line density, implementat în ArcGIS.

Harta Factorului elevaţie (Elevation factor) a fost obţinută pe baza DEM, cu rezoluţia de 25 m [115]. Modelul raster a fost clasificat în ArcGIS prin metoda Natural Breaks.

Harta Factorului panta terenului (Slope factor), exprimată în grade, a fost generată din DEM şi clasificată, în funcţie de valorile specifice zonei de interes.

Harta Factorului distanţa faţă de râuri (Distance from river), exprimată în metri, a fost obţinută prin aplicarea instrumentului Euclidean distance din ArcGIS, pe layer-ul vectorial cu reţeaua hidrografică [23].

Harta Factorului topografic are la bază *Topographic Wetness Index* (TWI), determinat pe baza unor parametrii generaţi din DEM. Pentru a obţine harta factorului topografic s-a aplicat relaţia (1) [328]:

$$\mathrm{TWI} = \ln \frac{\alpha}{\tan\beta} \tag{1}$$

Unde: α - aria cumulativă a suprafeței de drenaj în amonte pe unitatea de lungime a conturului; tanβ - unghiul pantei la punctul de contact.

Harta Factorului tip de sol (Soil factor), pentru zona de studiu, a fost obţinută pornind de la harta tipurilor de sol în format vectorial; acestea au fost clasificate în funcţie de nivelul de susceptibilitate la inundaţii. Harta solurilor a fost rasterizată pentru a fi inclusă în analiza finală.

Harta Factorului modul de utilizare a terenului (Land Use/Land Cover factor) are la baza datele Corine Land Cover, ediţia 2018, acestea fiind clasificate în funcţie de nivelul de susceptibilitate la inundaţii. Suprafeţele forestiere, bine vegetate, au cele mai scăzute niveluri, iar terenurile arabile, au cel mai înal grad de susceptibilitate.

Harta Factorului NDVI, prin care este exprimat gradul de acoperire cu vegetaţie a fost obţinută prin calculul NDVI mediu, la nivelul anului 2021, pe baza a cinci imagini satelitare Sentinel 2A. S-a aplicat formula (2) [328]:

$$\mathrm{NDVI} = (\mathrm{NIR} - \mathrm{R})/(\mathrm{NIR} + \mathrm{R}) \tag{2}$$

unde: NIR – banda infraroşu apropiat (banda 8); R – banda roşu (banda 4).

Harta Factorului distanţa faţă de drumuri (Distance from road factor), exprimată în metri, s-a obţinut pe baza formatului vectorial care conţine reţeaua rutieră, prin aplicarea instrumentului Euclidean distance din ArcGIS.

Cei zece factori luaţi în considerare în analiza susceptibilităţii la inundaţii a bazinului Crişul Alb au fost exprimaţi sub forma hărţilor raster, cu rezoluţia spaţială la 25 m, în sistemul de proiecţie Stereografică 1970. Fiecare hartă a fost reclasificată în

BUPT

funcţie de nivelul de susceptibilitate în cinci clase [328]: foarte scăzut (1); scăzut (2); moderat (3); mare (4) şi foarte mare (5).

Pentru reclasificarea hărţilor raster, respectiv pentru stabilirea intervalelor de valori, s-a folosit metoda Natural Break, în ArcGIS, metodă eficientă pentru identificarea claselor semnificative, prin care este minimizată variaţa în cadrul claselor şi maximizată variaţia între clase.

Ponderea fiecărui factor în analiza susceptibilităţii la inundaţii a teritoriului considerat, a fost stabilită prin AHP, conform GIS and RS Solution (Figura 5.2).

Factor (criteriu)	Pondere	Matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Topografie	13.78%	1	1	1	1	1	3	5	1	3	1	1
Elevaţie	12.07%	2	1	1	1	1	2	3	1	3	1	1
Panta	9.90%	3	1	1	1	1	3	1	1/2	1	1	1
Precipitaţii	13.45%	4	1	1	1	1	3	2	2	3	1	1
LULC	6.62%	5	1/3	1/2	1/3	1/3	1	1	1/3	3	1	1
NDVI	5.87%	6	1/5	1/3	1	1/2	1	1	1/5	1	1	1
Distanţa la râuri	14.08%	7	1	1	2	1/2	3	5	1	3	1	1
Distanţa la drumuri	5.59%	8	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1
Densitatea drenajului	9.32%	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tipurile de sol	9.32%	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 5.2. Matricea AHP (prelucrare după [137]; [74])

Pentru a obţine harta zonelor susceptibile la inundaţii, la nivelul teritoriului analizat, s-a utilizat instrumentul Weighted Overlay din ArcGIS [19].

Harta susceptibilităţii teritoriului la inundaţii a fost inclusă în analize spaţiale de tip overlay, împreună cu limita subbazinelor hidrografice şi cu harta modului de utilizare a terenului. În acest mod, s-a stabilit incidenţa fenomenului de risc, la nivel de subbazin şi intensitatea fenomenului, pe categorii de utilizare a terenului.

5.3. Analiza geospaţială a factorilor contributori la inundaţii

Inundațiile reprezintă fenomene naturale complexe, influențate de o varietate de factori hidrologici, geologici, pedologici și de utilizare a terenului Conform metodologiei de cercetare, în estimarea susceptibilităţii la inundaţii a bazinului Crişul Alb, au fost luaţi în considerare zece factori, respectiv: precipitaţiile (mm/an), densitatea drenajului (km/km^2), elevaţia sau altitudinea (m), panta terenului (grade), distanţa faţă de râuri (m), topografia, cu accent pe „umiditatea peisajului”, exprimată prin Topographic Wetness Index (TWI), tipurile de sol, modul de utilizare a terenului, gradul de acoperire cu vegetaţie, apreciat pe baza NDVI şi distanţa faţă de drumuri (m). Acești factori sunt interconectați și influențează complexitatea și severitatea inundațiilor. Înțelegerea modului în care acești factori interacționează este esențială pentru gestionarea riscului de inundații și implementarea măsurilor adecvate de prevenire și atenuare.

Pentru fiecare factor a fost generată harta la nivel de bazin, iar ulterior, aceste hărţi au fost reclasificate (prin metoda Natural Break, în ArcGIS), în funcţie de nivelul de participare la producerea inundaţiilor: foarte scăzut (1); scăzut (2); moderat (3); mare (4) şi foarte mare (5).

BUPT

5.3.1. Factorii hidrologici

Din categoria factorilor hidrologici, în cadrul cercetărilor, au fost luaţi în considerare doi factori cheie în producerea inundaţiilor, respectiv precipitaţiile atmosferice şi densitatea drenajului.

5.3.1.1. Precipitaţiile atmosferice

Precipitațiile joacă un rol crucial în declanșarea inundațiilor. Cantitățile mari de precipitații într-un interval scurt de timp pot duce la creșteri rapide ale debitului râurilor și la saturația solului, contribuind la inundații extinse. Factorul „precipitaţii", parametru esenţial în producerea inundaţiilor [251], crește susceptibilitatea la inundații prin aportului mai mare de apă și prin potențialul de scurgere ([109]; [182]).

Alături de alţi factori favorizanţi sau declanşatori, precipitaţiile au o contribuţie semnificativă la producerea inundaţiilor, gradul de pericol crescând proporţional cu creşterea cantităţii de precipitaţii [328].

Harta cantităţilor de precipitaţii din zona de studiu a fost clasificată în cinci clase, în funcţie de potenţialul lor în producerea inundaţiilor (Figura 5.3).

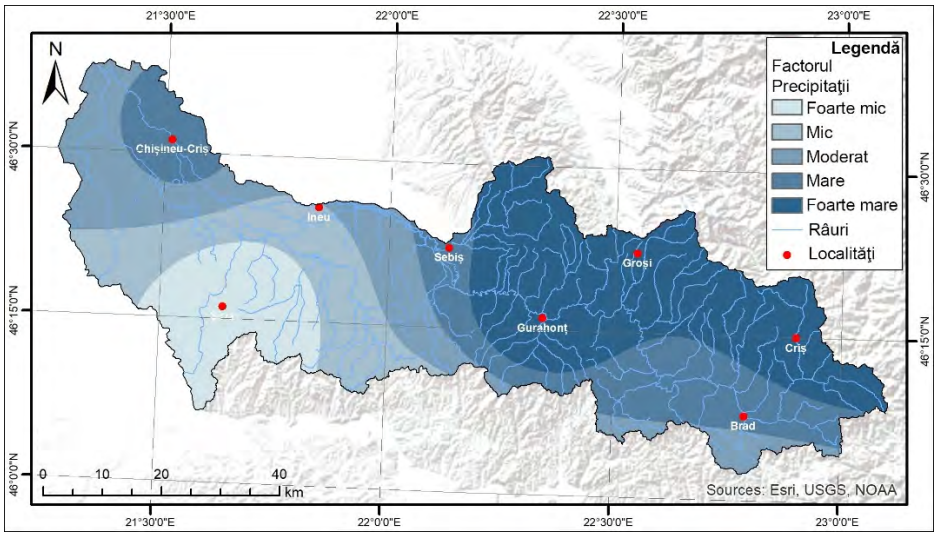


Figura 5.3. Distribuţia factorului Precipitaţii în bazinul Crişul Alb

Din figura 5.3, se poate observa că cele mai mari cantităţi de precipitaţii (cu impact foarte ridicat), între 923 - 1048 mm, s-au produs, în general, în partea centrală şi nord-estică a bazinului (Munţii Codru-Moma, Dep. Brad-Hălmagiu, Munţii Bihorului). În următoarea clasă, cu impact ridicat şi cantităţi de precipitaţii cuprinse între 837 – 923 mm, se încadrează teritorii din partea centrală şi sud-estică (Munţii Metaliferi). Cel mai puţin „afectate" (cu pondere foarte scăzută) sunt teritoriile din sud-vest (Câmpia Mureşului), cu cantităţi de precipitaţii între 510 – 630 mm.

La nivelul zonei, s-a constatat o distribuţie neuniformă a precipitaţiilor, atât de la un an la altul, cât şi sub aspectul repartiţiei teritoriale. Media cantităţilor de precipitaţii în intervalul 2013 – 2022 a fost de 784 mm. Cele mai mici valori medii

BUPT

multianuale s-au înregistrat la staţia meteo Vărădia de Mureş, judeţul Arad (465 mm), iar cele mai mari, la staţia meteo Roşia Montană, judeţul Alba (1146 mm).

5.3.1.2. Densitatea drenajului

Densitatea drenajului, exprimată în km/km^2, ca lungimea râurilor raportată la suprafaţa bazinală ([101]; [208]) se constituie ca unul dintre cei mai importanţi factori în evaluarea susceptibilităţii teritoriului la inundaţii.

Factorul Densitatea drenajului, arată gradul de dezvoltare a reţelei hidrografice. Se poate deduce că susceptibilitatea la inundaţii creşte proporţional cu densitatea drenajului [233].

În zona de studiu (Figura 5.4), densitatea drenajului are valori reduse în sud-vest (0–0.3 km/km^2), fiind mai puţin „implicat" în producerea inundaţiilor şi valori foarte mari (1.8–3.1 km/km^2), unde densitatea reţelei hidrografice este mare.

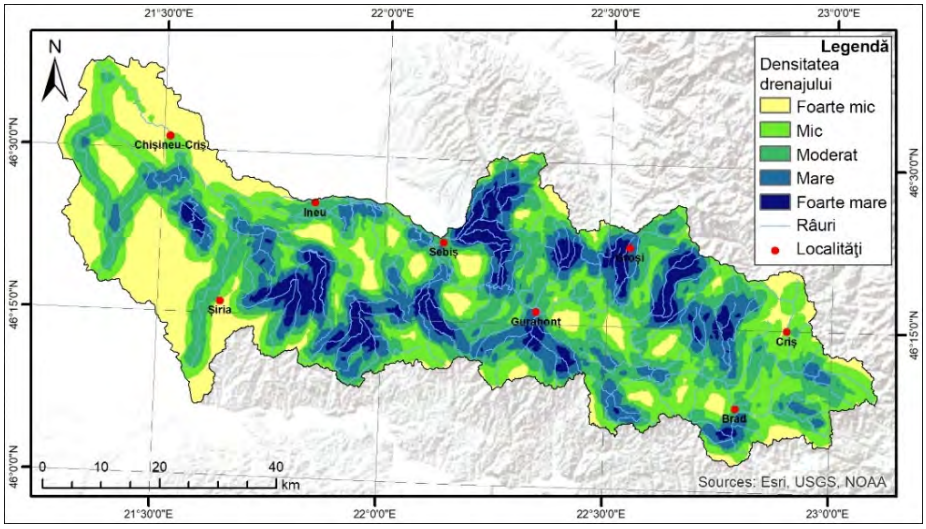


Figura 5.4. Distribuţia factorului Densitatea drenajului în bazinul Crişul Alb

În bazinul Crişul Alb, subzonele cu densitate mare a reţelei hidrografice sunt expuse unor riscuri foarte mari de inundaţii, acestea fiind identificate în sudul şi nordul bazinului.

5.3.2. Factori morfometrici

Din categoria factorilor morfometrici, cu susceptibilitate la inundaţii, au fost luaţi în considerare elevaţia terenului, panta terenului şi distanţa faţă de râuri.

5.3.2.1. Elevaţia terenului

Altitudinea reprezintă un alt factor cu impact semnificativ în producerea şi propagarea inundaţiilor, având în vedere faptul că stabileşte direcţia şi acumularea scurgerilor [151].

BUPT

Factorul Elevaţie, pune în evidenţă conformaţia reliefului şi specifică cota şi poziţia terenului în raport cu nivelul apei [182], iar în evaluarea susceptibilităţii la inundaţii se consideră că zonele de câmpie sunt cele mai vulnerabile ([260]; [370]).

În funcţie de factorul Elevaţie, teritoriul bazinului Crişul Alb a fost clasificat în cinci categorii (Figura 5.5). În prima categorie, cu impact foarte scăzut, se încadrează terenurile cu altitudinea între 861 – 1587 m, terenuri situate în zone montane cu pante mari care asigură scurgerea apei. La polul opus, cu impact foarte mare în producerea inundaţiilor, se situează terenurile cu altitudinea între 82 – 206 m, din zonele de câmpie joasă ale bazinului analizat.

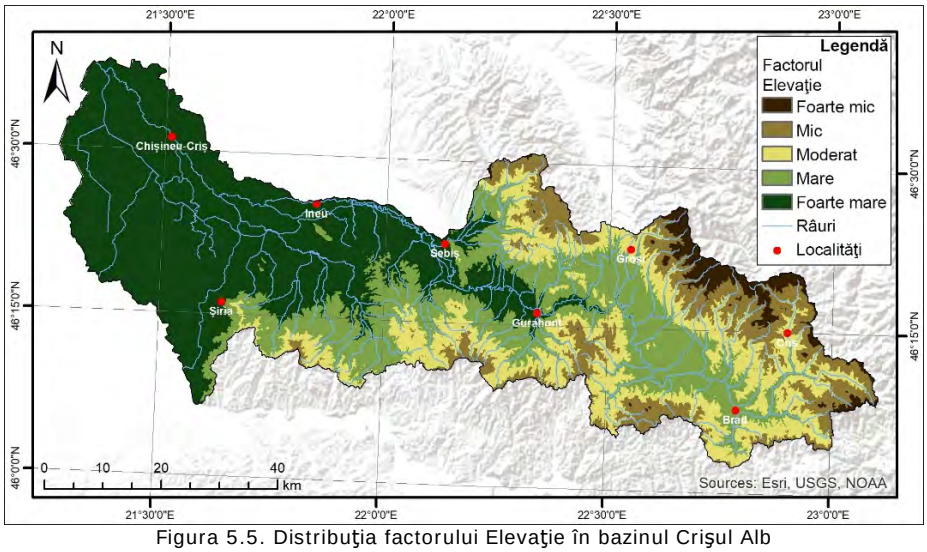


Figura 5.5. Distribuţia factorului Elevaţie în bazinul Crişul Alb

Figura 5.5 evidenţiază faptul că în jumătatea vestică a bazinului Crişul Alb, cu preponderenţă în zonele de câmpie; cele mai vulnerabile la pericolul de inundaţii.

5.3.2.2. Panta terenului

Panta terenului, are efect esenţial asupra producerii şi manifestării inundaţiilor şi poate fi considerată indicator al sensibilităţii teritoriului la inundaţii [371].

Factorul Panta terenului stabileşte modelele scurgerii apei: pe pantele mari, apa se scurge cu viteză mare şi scade rata de acumulare, iar în cazul terenurilor cu pante reduse sau plane, apa are viteză mică de scurgere, fiind favorizată acumularea acesteia ([157]; [338]).

În funcţie de panta terenului, zona de studiu a fost împărţită în cinci clase (Figura 5.6), în funcţie de „intervenţia" acesteia în generarea inundaţiilor: zone cu pante între 0 - 4º (cu pondere foarte mare); zone cu panta între 4 - 10º (cu pondere mare); zone cu panta între 10 - 17º (cu pondere moderată); zone cu panta între 17 – 24º (cu pondere mică) şi zone cu panta între 24 - 59º (cu pondere foarte mică).

Rezultatele cercetărilor noastre arată că, sub aspectul contribuţiei la producerea inundaţiilor, panta se constituie ca factor favorizant în zonele de câmpie şi depresiuni din bazinul Crişul Alb, la valori reduse ale pantelor (apa stagnează). Pe

BUPT

măsura înaintării spre zonele montane şi creşterea valorilor pantelor, efectul acestui factor în producerea inundaţiilor scade (se produce scurgerea pe versant).

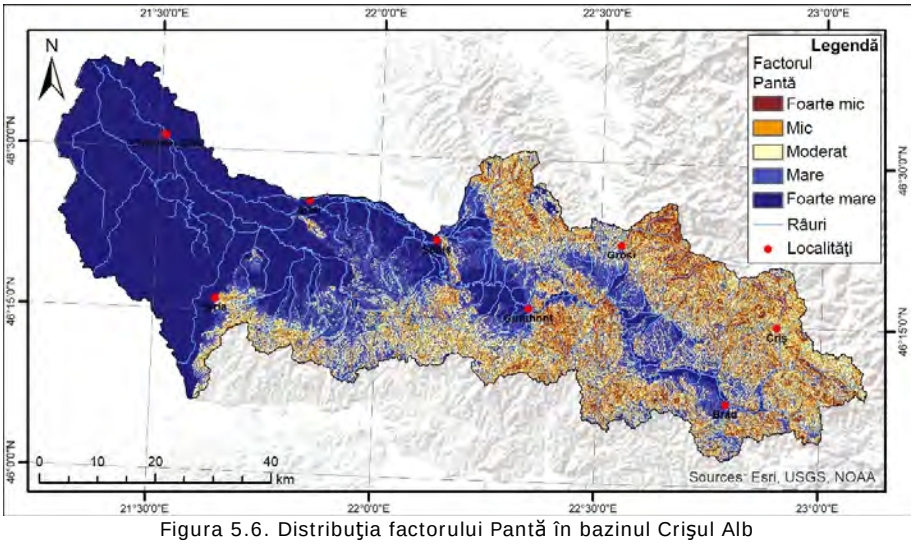


Figura 5.6. Distribuţia factorului Pantă în bazinul Crişul Alb

5.3.2.3. Distanţa faţă de râuri

Distanţa faţă de râuri (Figura 5.7) este adesea folosită ca indicator în aprecierea susceptibilităţii la inundaţii [182]. Se consideră că zonele mai apropiate de cursurile de apă prezintă un risc mai mare de inundaţii, iar proporţional cu creşterea distanţei, se reduce şi efectul acestui factor ([352]; [328]).

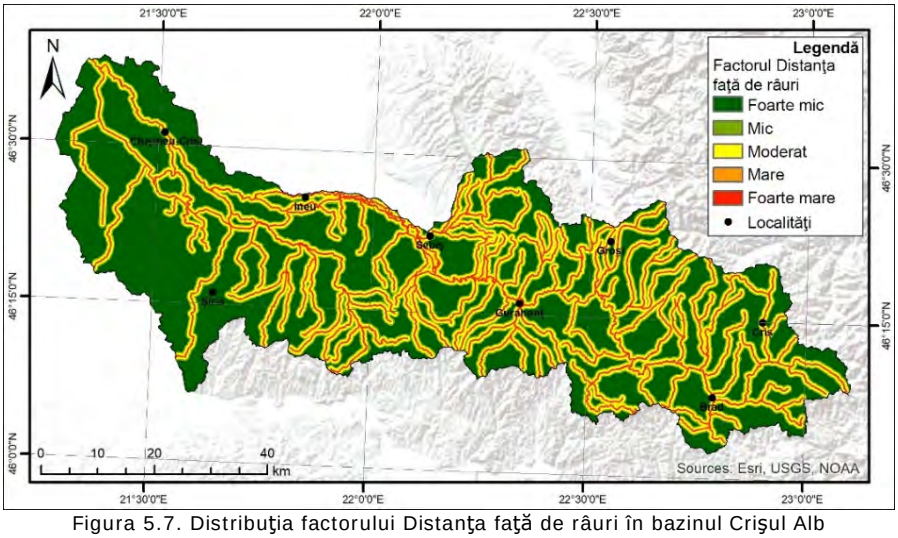


Figura 5.7. Distribuţia factorului Distanţa faţă de râuri în bazinul Crişul Alb

BUPT

Zona de studiu, cu reţea hidrografică foarte bine reprezentată, a fost împărţită, în funcţie de distanţa faţă de râuri şi ponderea în producerea inundaţiilor, în cinci clase (Figura 5.7). Cele mai expuse la inundaţii sunt zonele aflate la distanţe reduse faţă de râuri (între 0 – 100 m) şi cele mai puţin expuse, sunt suprafeţele aflate la distanţe foarte mari faţă de râuri (peste 701 m).

Din figura 5.7 se observă că în mare parte din teritoriul bazinal al râului Crişul Alb, distanţa faţă de râuri este redusă, ceea ce creşte riscul de producere a inundaţiilor. Excepţie face partea de vest, cu densitate mai mică a reţelei hidrografice.

5.3.3. Permeabilitatea terenului

Din categoria factorilor incluşi la „Permeabilitatea terenului", cu implicaţii în evaluarea susceptibilităţii la inundaţii, au fost luaţi în considerare topografia (cu accent pe „umiditatea terenului") şi tipurile de sol

5.3.3.1. Topografia

Factorul Topografie (Figura 5.8), a fost exprimat prin Topographic Wetness Index (TWI). Acesta măsoară „umiditatea peisajului" şi estimează potenţialul de saturaţie al apei, indicând astfel zonele predispuse la acumulare [182]. TWI, pune în evidenţă zonele predispuse la acumularea apei şi deci susceptibile la inundaţii.

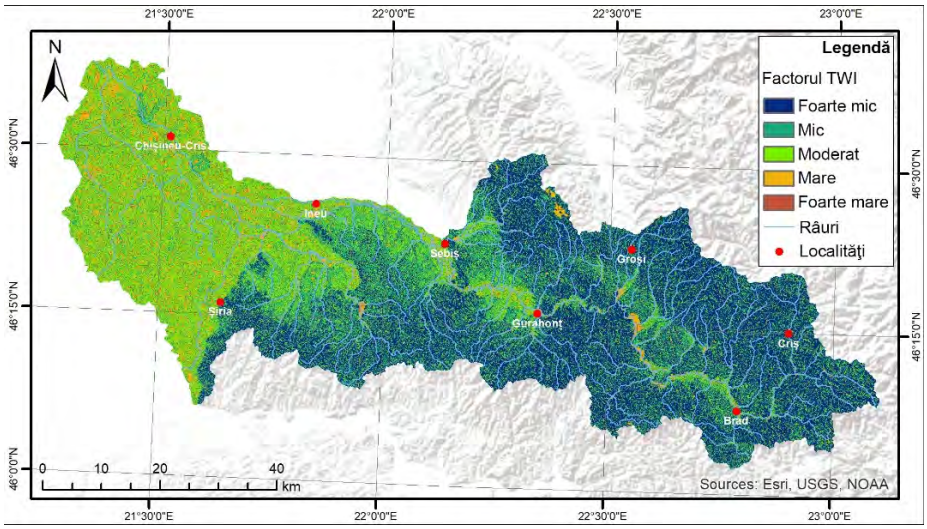


Figura 5.8. Distribuţia factorului TWI în bazinul Crişul Alb

Pentru zona de studiu (Figura 5.8), TWI a fost determinat pe baza direcţiei de curgere, a acumulării scurgerii şi a pantei terenului, fapt confirmat şi de alte studii [177].

La nivelu bazinului Crişul Alb, TWI a avut valori foarte mari (14.8 – 33.3) în zonele de câmpie, cu pante reduse în care este favorizată acumularea mare de apă. Acestea sunt zonele cu cel mai înalt nivel de susceptibilitate la inundaţii (Figura 5.8). Creşterea altitudinii şi a valorilor pantelor corespunde cu reducerea valorilor TWI. Astfel, în zonele montane, TWI a avut valori cuprinse între 2.7 – 6.1, ceea ce înseamnă

BUPT

o pondere mai redusă în producerea inundaţiilor. Faţă de zonele de câmpie, în aceste zone, apa se scurge cu viteză mare datorită pantelor accentuate şi astfel, aceste zone, evaluate prin prisma factorului TWI, sunt zone cu nivel de susceptibilitate foarte redus la inundaţii.

5.3.3.2. Tipurile de sol

Solul influenţează scurgerea şi infiltrarea apei, în special prin structură şi textură ([314]; [71]). În cazul solurilor cu textură argiloasă, compacte, infiltraţia este redusă, apa se scurge la suprafaţă şi astfel este favorizată acumularea, în contrast cu solurile cu textură nisipoasă, care favorizează infiltrarea [14].

Solurile zonei de studiu au fost clasificate pe baza formatului vectorial, în mediul GIS, în principal, în funcţie de textura şi structura solului, care poate influenţa capacitatea de stocare a apei (Figura 5.9).

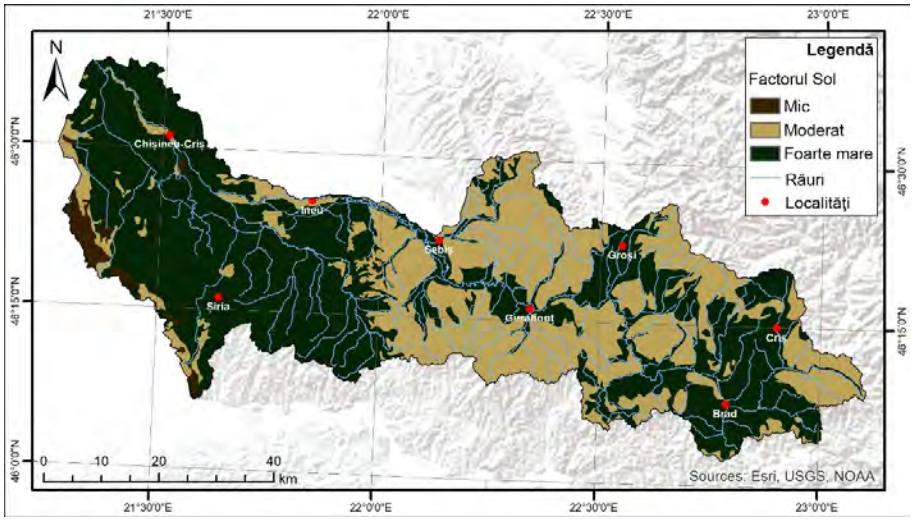


Figura 5.9. Distribuţia factorului Tip de sol în bazinul Crişul Alb

În cazul zonei de studiu, solurile au impact foarte mare, în special, în zonele de câmpie şi moderat, în zonele de deal şi în cele montane.

În funcţie de caracteristicile lor, solurile se comportă diferenţiat în ceea ce priveşte susceptibilitatea la inundaţii.

Cel mai mare nivel de susceptibilitate a fost atribuit solurilor cu texturi argiloase (Figura 5.9), impermeabile, iar cel mai mic, s-a atribuit solurilor cu texturi nisipoase, cu grad mare de permeabilitate.

5.3.4. Utilizarea terenului

Din categoria factorilor incluşi la „Utilizarea terenului”, cu implicaţii în evaluarea susceptibilităţii la inundaţii, au fost luaţi în considerare modul (clasele) de utilizare a terenului şi gradul de acoperire a terenului cu vegetaţie, apreciat pe baza indicelui NDVI.

BUPT

5.3.4.1. Modul de utilizare a terenului

Factorul Modul de utilizare a terenului (Land use / Land cover - LULC) influenţează rata de infiltrare a apei, scurgerea şi dinamica inundaţiilor ([25]; [251]).

Utilizarea terenului sugerează indicii foarte importante în ceea ce priveşte identificarea susceptibilităţii la inundaţii, bazându-se pe ratele diferite de infiltrare oferite de formaţiunile vegetale ([244]; [178]; [219]).

Pentru zona de studiu, modul de utilizarea a terenului a fost clasificat în cinci categorii (Figura 5.10): vegetaţie forestieră (cu pondere foarte scăzută), care asigură o rată mare de infiltrare; aşezări umane (cu impact moderat); terenuri agricole (cu pondere mare) şi suprafeţe acvatice (cu pondere foarte mare).

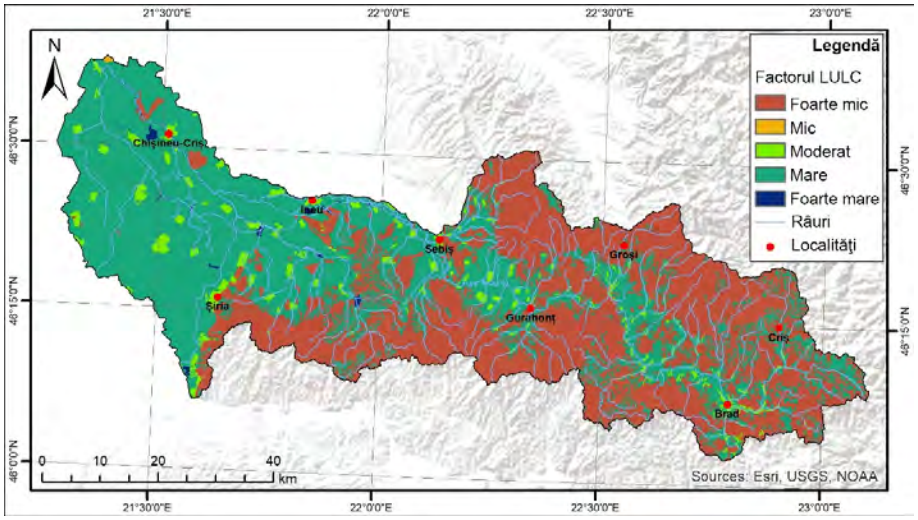


Figura 5.10. Distribuţia factorului Modul de utilizare a terenului în bazinul Crişul Alb

Din figura 5.10 se constată că jumătatea estică (subbazinul superior şi mijlociu), acoperit de păduri, este mai bine protejat, comparativ cu jumătatea vestică (cursurile inferioare ale râurilor), în care predomină terenurile agricole.

5.3.4.2. Gradul de acoperire a terenului cu vegetaţie

Factorul Gradul de acoperire a terenului cu vegetaţie a fost exprimat prin indicele NDVI. S-a considerat că vegetaţie densă funcţionează ca o barieră în calea scurgerii şi deci conferă zonelor aferente un grad mai redus de susceptibilitate, în contrast cu zonele slab vegetate, caracterizate prin grad foarte ridicat de susceptibilitate

NDVI (Figura 5.11), determinat pentru zona de studiu pe baza imaginilor Sentinel 2A, oferă imaginea detaliată a acoperirii şi consistenţei vegetaţiei.

Se consideră că zonele cu densitate mare a vegetaţiei sunt mai bine protejate din punct de vedere al vulnerabilităţii la inundaţii. Prin prisma acestui factor, zonele montane, acoperite de vegetaţie cu consistenţă mare au fost clasificate cu grad foarte redus de susceptibilitate (Figura 5.11). În zonele de câmpie, dominate de terenuri

BUPT

agricole, gradul mai redus de acoperire şi consistenţă a vegetaţiei, le face vulnerabile la inundaţii.

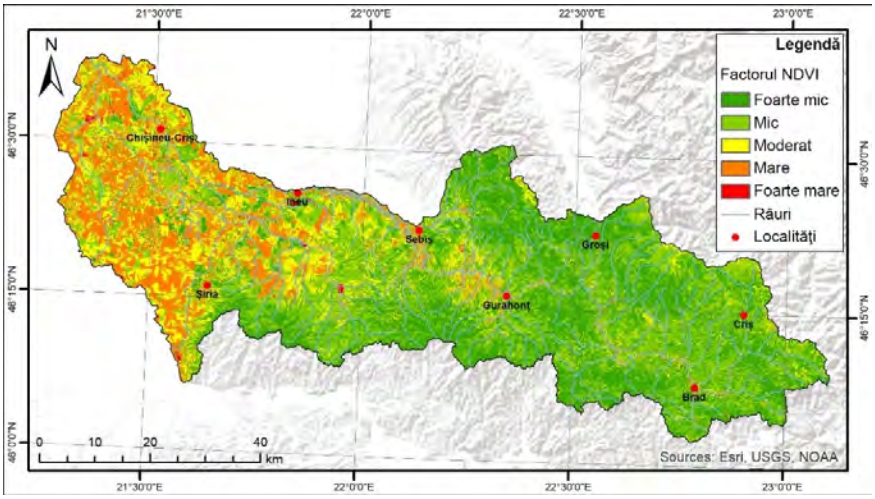


Figura 5.11. Distribuţia factorului NDVI în bazinul Crişul Alb

5.3.5. Factorii antropici

Din categoria factorilor Antropici, cu implicaţii în evaluarea susceptibilităţii la inundaţii, a fost luat în considerare factorul Distanţa faţă de drumuri.

5.3.5.1. Distanţa faţă de drumuri

Factorul Distanţa faţă de drumuri (m) este, de asemenea, un parametru care influenţează infiltraţia.

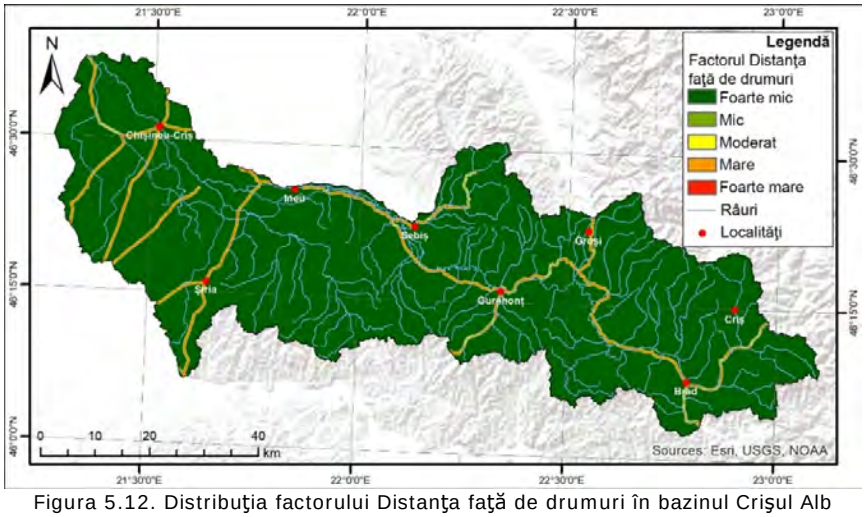


Figura 5.12. Distribuţia factorului Distanţa faţă de drumuri în bazinul Crişul Alb

BUPT

Se consideră că în proximitatea drumurilor, terenurile au permeabilitate scăzută, în acest fel este afectat procesul de infiltraţie şi favorizată acumularea. De asemenea, în urma lucrărilor specifice, drumurile restricţionează procesul de infiltrare a apei, ceea ce duce la creşterea riscului de inundaţii [251].

În acest studiu, harta distanţei faţă de drumuri s-a clasificat în cinci categorii (Figura 5.12), în funcţie de infrastructura rutieră specifică.

În bazinul Crişul Alb clasa cu risc foarte mare de inundaţii cuprinde terenurile aflate la distanţe între 0 - 50 m faţă de drumuri, iar clasa cu risc foarte redus, include terenurile situate la distanţa faţă de drumuri peste 300 m.

5.4. Ponderarea factorilor relevanţi prin AHP

Evaluarea riscului de inundaţii este un proces complex care necesită o abordare multidimensională. În cazul bazinului Crişului Alb, au fost identificaţi 10 factori esenţiali, fiecare având o pondere specifică în formula de evaluare, stabilită prin analiza ierarhică AHP (Analytic Hierarchy Process).

Pentru analiza susceptibilităţii la inundaţii a bazinului Crişul Alb, au fost utilizaţi cei zece parametrii (factori) analizaţi, iar semnificaţia şi ponderea în evaluarea finală, stabilite prin AHP, este prezentată în tabelul 5.1.

Analiza detaliată a ponderii fiecărui factor (Tabelul 5.1) este crucială pentru înțelegerea importanței relative a acestora și pentru implementarea unor măsuri eficiente de gestionare a riscului.

1. Precipitațiile reprezintă unul dintre cei mai importanți factori în generarea inundațiilor. Ponderea de 13% reflectă rolul lor semnificativ în alimentarea debitelor râurilor și în saturația solului.

Schimbările climatice și variațiile sezoniere pot amplifica riscul de inundații, astfel că monitorizarea precipitațiilor este esențială pentru prognozele hidrologice.

2. Densitatea drenajului este de asemenea foarte importantă. O densitate mare a drenajului poate facilita evacuarea rapidă a apei, reducând riscul de inundații locale. Ponderea de 9% indică o influență moderată în evaluarea riscului.

Zonele cu densitate mare a rețelei de drenaj sunt mai susceptibile la inundații. Este importantă cartografierea și gestionarea eficientă a rețelei de drenaj pentru prevenirea inundațiilor.

3. Elevația influențează direcția și viteza de scurgere a apei. Ponderea de 12% subliniază importanța terenului în modelarea riscului de inundații.

Zonele joase sunt mai predispuse la inundații, în timp ce zonele înalte, deși mai puțin afectate, pot contribui la scurgerea rapidă a apei spre zonele inferioare.

4. Panta terenului determină viteza de scurgere a apei. Ponderea de 10% reflectă influența semnificativă a pantei asupra scurgerii de suprafață.

Zonele cu pante abrupte au scurgeri rapide, ceea ce poate crește riscul de eroziune și inundații în aval. Gestionarea pantei terenului este crucială pentru reducerea riscului.

5. Distanța față de râuri, respectiv proximitatea față de cursurile de apă este un factor critic în evaluarea riscului de inundații. Ponderea de 14% indică importanța majoră a acestui factor.

Zonele apropiate de râuri sunt mai vulnerabile la inundaţii din cauza creşterii rapide a debitului şi posibilitatea apariţiei revărsărilor. Planificarea teritorială trebuie să țină cont de acest factor pentru a minimiza riscul.

6. NDVI măsoară acoperirea cu vegetație, care poate atenua riscul de inundații. Ponderea de 6% sugerează o influență mai redusă, dar semnificativă.

BUPT

Vegetația densă poate intercepta precipitațiile și poate facilita infiltrarea apei, reducând astfel riscul de inundații. Conservarea și restaurarea zonelor verzi sunt importante.

7. TWI este un indicator al umidității peisajului și al potențialului de saturație. Ponderea de 14% subliniază rolul său esențial în evaluarea riscului.

TWI ridicat indică zone cu risc mare de saturație și inundații. Monitorizarea TWI poate ajuta la identificarea zonelor vulnerabile și la implementarea măsurilor de protecție.

Tabelul 5.1

Ponderea factorilor pentru estimarea susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb

Factor / Ponderea	Intervale	Clasa de susceptibilitate: Clase	Rang	Clase	Intervale	Factor / Ponderea
Precipitaţii (mm/an)	510-630	1	Foarte mic	1	0-0.33	Densitatea drenajului (km/km^2)
	631-744	2	Mic	2	0.34-0.78	
	745-836	3	Moderat	3	0.79-1.21	
13%	837-923	4	Mare	4	1.22-1.76	
	924-1048	5	Foarte mare	5	1.77-3.19	9%
Elevaţia (m)	82-206	5	Foarte mare	5	0-3.72	Panta (grade)
	207-389	4	Mare	4	3.73-10.0	
	390-589	3	Moderat	3	10.1-16.6	
12%	590-861	2	Mic	2	16.7-24.2	10%
	862-1587	1	Foarte mic	1	24.3-59.4	
Distanţa faţă de râuri (m) 14%	0-100	5	Foarte mare	5	-0.20-0.15	
	101-150	4	Mare	4	0.16-0.26	NDVI
	151-500	3	Moderat	3	0.27-0.35	
	501-700	2	Mic	2	0.36-0.42	6%
	>701	1	Foarte mic	1	0.43-0.64	
TWI	2.78-6.14	1	Foarte mic	2	Texturi grosiere	Tipuri de sol
	6.15-8.18	2	Mic			
	8.19-10.81	3	Moderat	3	Texturi medii	
14%	10.82-14.89	4	Mare			9%
	14.90-33.35	5	Foarte mare	5	Texturi fine	
Distanţa faţă de drumuri (m) 6%	0-50	5	Foarte mare	5	Corpuri de apă	
	51-100	4	Mare	4	Teren agricol	LULC
	101-200	3	Moderat	3	Localităţi	
	201-300	2	Mic	2	Sol neacoperit	7%
	>301	1	Foarte mic	1	Vegetaţie	

8. Tipurile de sol, respectiv permeabilitatea și textura solului influențează capacitatea de infiltrare a apei. Ponderea de 9% reflectă influența moderată a acestui factor.

Solurile argiloase, cu permeabilitate redusă, contribuie la scurgerea rapidă de suprafață și la inundații. Cartografierea tipurilor de sol și gestionarea adecvată sunt esențiale.

9. Distanța față de drumuri, respectiv infrastructura rutieră poate modifica drenajul natural al apei. Ponderea de 6% indică o influență mai redusă, dar relevantă.

Drumurile impermeabile pot crea bariere și pot redirecționa apa, contribuind la inundații locale. Planificarea și designul infrastructurii trebuie să minimizeze aceste efecte.

BUPT

10. LULC - modul de utilizare a terenului și acoperirea acestuia influențează riscul de inundații. Ponderea de 7% reflectă influența utilizării terenului asupra riscului de inundații.

Urbanizarea și schimbările în utilizarea terenului pot reduce capacitatea naturală de absorbție a apei, crescând riscul de inundații. Politicile de utilizare a terenului trebuie să promoveze practici sustenabile.

Ponderile atribuite fiecărui factor, prin analiza AHP, reflectă importanța relativă a acestora în evaluarea riscului de inundații în bazinul Crișului Alb. Prin înțelegerea detaliată a acestor ponderi și a modului în care fiecare factor contribuie la riscul total de inundații, se pot dezvolta strategii mai eficiente pentru prevenirea și gestionarea inundațiilor. Implementarea unor măsuri adecvate de management al terenului, monitorizarea continuă și planificarea infrastructurii pot reduce semnificativ impactul inundațiilor asupra comunităților și mediului.

5.5. Estimarea susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb

În Spaţiul Hidrografic Crişuri şi implicit în bazinul râului Crişul Alb, de-a lungul timpului, s-au produs o serie de evenimente hidrologice importante, printre care pot fi menţionate: inundaţiile din anul 1970, produse pe fondul unor ploi cu caracter torenţial (debitul maxim înregistrat pe Crişul Alb, la Bocsig, a fost de 466 m3/s); inundaţiile din anul 1995, produse ca urmare a unor viituri cu niveluri remarcabile, ca urmare a topirii bruşte a zăpezii şi pe fondul căderii unor cantităţi mari de precipitaţii; inundaţiile din anul 2000 (Râul Crişul Alb şi Cigher), prin producerea unor viituri în perioada de primăvară, datorate topirii zăpezii şi alimentării pluviale şi subterane [23]. Aceste fenomene au afectat populaţia umană, gospodăriile, terenurile agricole, dar şi infrastructura de transport.

Pe baza celor zece hărți obținute pentru fiecare factor implicat, cu pondere diferită, combinate și suprapuse în mediul, GIS, s-a generat harta de susceptibilitate la inundații (Figura 5.13).

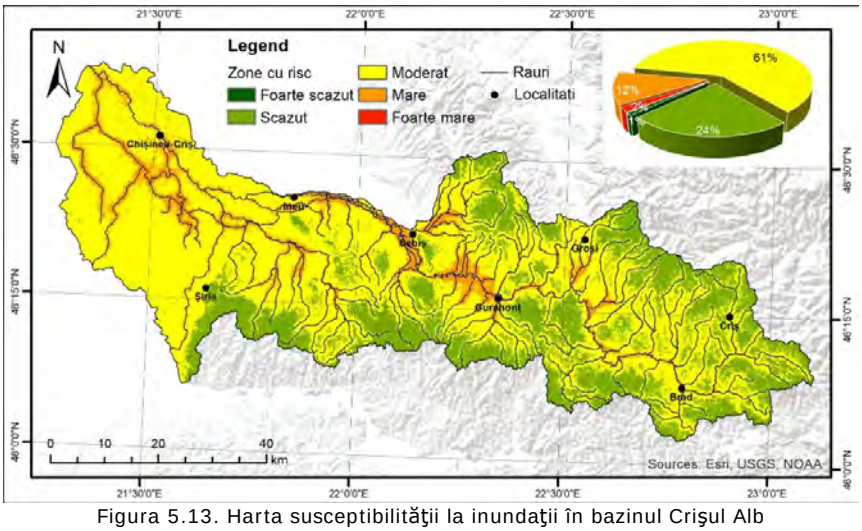


Figura 5.13. Harta susceptibilităţii la inundaţii în bazinul Crişul Alb

BUPT

Harta finală a zonei susceptibile la inundații (Figura 5.13) a fost generată și clasificată în cinci clase majore cu potențial de inundație, de la foarte scăzut, la foarte mare.

Pe suprafaţa de 100.133 ha, respectiv 25% din suprafaţa bazinală, riscul producerii inundaţiilor este scăzut. Aceste suprafeţe sunt localizate în zonele montane înalte, în zonele periferice ale bazinului, aproape de cumpăna de ape.

Suprafaţa de 269268 ha, respectiv 61% din suprafaţa bazinului analizat, se încadrează în clasa de susceptibilitate la inundaţii moderată. Sunt localizate, predominant în zonele de dealuri şi în zonele joase, în special în Câmpia Mureşului.

Din suprafaţa totală a bazinului Crişul Alb, 52645 ha (12%) au un grad mare de susceptibilitate la inundaţii. Acestea sunt corespondente zonelor depresionare şi zonelor de câmpie joasă, în special în Câmpia Joasă a Crişurilor.

Suprafaţa de 81 ha (2%) a fost clasificată ca zone cu susceptibilitate foarte mare la inundaţii. Suprafeţele respective sunt situate pe microforme de relief de tasare, în zonele de câmpie joasă sau în apropierea văilor râurilor.

Rezultatele obţinute arată că zonele susceptibile la inundaţii, cu grad ridicat şi moderat, se suprapun depresiunilor şi câmpiilor. În aceste zone sunt cantonate multe dintre aşezările umane, aflate astfel în pericol posibil de a fi afectate de inundaţii. De asemenea, în aceste zone predomină terenurile agricole care pot fi afectate de inundaţii.

5.6. Analiza impactului potenţial al inundațiilor asupra claselor de utilizare a terenului

Zonele rezidențiale sunt adesea afectate de inundații, ceea ce duce la pierderi materiale semnificative și la consecinţe negative asupra populației ([51]; [184]).

În aceeaşi măsură, inundaţiile pot avea efecte devastatoare asupra terenurilor agricole, distrugând culturi sau reducând productivitatea şi calitatea acestora. Impactul economic poate fi major, afectând securitatea alimentară și veniturile fermierilor.

De asemenea, inundațiile pot afecta activitatea industrială, ducând la pierderi economice și probleme de mediu, cum ar fi scurgerile de substanțe chimice [303].

În cazul zonei de studiu, pentru analiza impactului potenţial al inundaţiilor asupra claselor de utilizare a terenului s-a aplicat instrumentul Tabulate Area, din ArcGIS.

Rezultatul analizei Tabulate Area este exprimat tabelar şi arată suprafaţa fiecărei clase de utilizare a terenului pentru fiecare nivel de susceptibilitate la inundaţii (Tabelul 5.2).

Datele prezentate în tabelul 5.2 evidenţiază următoarele aspecte:

a. Spațiul construit și suprafețele artificiale: aceste zone prezintă o distribuție similară, cu o predominanță în categoria de risc moderat (71% și, respectiv, 68%) și un procent semnificativ în categoria de risc mare (27% și 25%). Absența suprafețelor în categoriile foarte scăzut și foarte mare indică o expunere generalizată la inundații moderate, ceea ce necesită totuşi măsuri de protecție urbană;

b. Terenul arabil: aproximativ trei sferturi din terenul arabil este expus unui risc moderat de inundații (76%), iar restul de 24% unui risc mare. Acest lucru poate afecta negativ productivitatea agricolă în perioadele de inundații și subliniază necesitatea unor strategii de management agricol pentru a atenua impactul acestor fenomene distructive;

BUPT

Tabelul 5.2
Analiza impactului potenţial al inundaţiilor asupra claselor de utilizare a terenului

Clasa de utilizare a terenului	Nivelul de susceptibilitate la inundaţii					Suprafaţa	
	Foarte scăzut	Scăzut	Moderat	Mare	Foarte mare	ha	%
Spaţiu construit	0	1	71	27	0	16233	100
Suprafeţe artificiale	0	7	68	25	0	488	100
Teren arabil	0	0	76	24	0	119511	100
Orezării	0	0	100	0	0	140	100
Plantaţii viticole	0	53	47	0	0	3312	100
Plantaţii pomicole	0	14	81	5	0	4973	100
Pajişti	0	8	80	12	0	61144	100
Terenuri agricole eterogene	0	7	71	22	0	33121	100
Păduri	0	50	49	1	0	176078	100
Vegetaţie arbustiferă	0	46	50	4	0	4078	100
Alte terenuri	0	0	21	79	0	3025	100
Total		24	64	13	0	422103	100

c. Plantațiile viticole și pomicole: plantațiile viticole au o distribuție de 53% risc scăzut și 47% risc moderat, în timp ce plantațiile pomicole sunt în mare parte expuse la risc moderat (81%), cu 14% risc scăzut și 5% risc mare. Aceasta sugerează o expunere relativ mai mică la riscuri mari, dar necesită totuși măsuri de prevenție pentru a proteja aceste culturi;

d. Pajiști și terenuri agricole eterogene: aceste terenuri au o distribuție predominantă în categoria de risc moderat (80% și respectiv 71%), cu procente semnificative în categoriile de risc scăzut și mare. Acest lucru indică necesitatea unor măsuri de gestionare a pajiștilor pentru a reduce vulnerabilitatea;

e. Păduri și vegetație arbustiferă: pădurile sunt în mare parte expuse la risc scăzut (50%) și moderat (49%), cu un risc minim mare (1%). Vegetația arbustiferă are 46% risc scăzut și 50% moderat, indicând un rol potențial de protecție naturală împotriva inundațiilor în aceste zone;

f. Alte terenuri (zone umede, în pincipal): acestea au o distribuție majoritară în categoria de risc mare (79%) și moderat (21%), indicând o susceptibilitate ridicată la inundații și necesitatea unei gestionări atente a acestor suprafețe.

Rezultatele cercetărilor arată că din totalul de 422,103 hectare analizate, majoritatea (64%) sunt expuse unui risc moderat de inundații, 24% unui risc scăzut și 13% unui risc mare. Absența suprafețelor în categoriile foarte scăzut și foarte mare sugerează o vulnerabilitate semnificativă în mai multe categorii de utilizare a terenului.

5.7. Măsuri de management pentru reducerea riscului de inundații

Măsurile de management pentru reducerea riscului de inundații în bazinul hidrografic al Crișului Alb, pe baza cercetărilor elaborate, pot fi sintetizate asftel:

1. Îmbunătățirea infrastructurii hidrotehnice, prin reabilitarea și modernizarea digurilor și a canalelor de desecare (drenaj). Din păcate, după anul 1989, în zona analizată, multe lucrări hidrotehnice au fost abandonate, devenind ineficiente. Este esențial să se reabiliteze aceste structuri și să se modernizeze pentru a asigura protecția adecvată împotriva inundațiilor.

BUPT

În zonele critice neamenajate, recomandăm să se construiască noi diguri și canale de desecare (drenaj) pentru a reduce riscul de inundații.

2. Managementul solului și al vegetației şi promovarea tehnicilor de conservare a solului. Recomandăm implementarea unor practici agricole sustenabile vis-a-vis de terenurile agricole, cum ar fi: rotaţia culturilor, utilizarea culturilor de acoperire a solului, minimizarea lucrărilor agricole (no-till și minimum-till) pentru a îmbunătăți permeabilitatea solului și a reduce scurgerile de suprafață.

Recomandăm de asemenea, atenţie la creșterea acoperirii vegetale prin reîmpădurire și conservarea pajiştilor şi pădurilor existente; ambele pot intercepta precipitațiile și contribuie la facilitarea infiltrării apei în sol.

3. Planificarea și managementul teritoriului, presupune:

- zonarea teritorială, respectiv identificarea și delimitarea zonelor cu risc ridicat de inundații și implementarea de restricții de construire în aceste zone;
- planificarea infrastructurii, respectiv asigurarea faptului că infrastructura de transport, cum ar fi drumurile, este proiectată și construită astfel încât să nu perturbe drenajul natural al apei.

4. Monitorizarea și alerta timpurie, implică implementarea sistemelor de monitorizare și avertizare. Recomandă dezvoltarea unor sisteme de monitorizare a precipitațiilor, nivelurilor râurilor și umidității solului, corelate cu sisteme de avertizare timpurie pentru a informa populația asupra riscul iminent de inundații.

Pentru monitorizarea şi predicţia inundaţiilor, încurajăm utilizarea tehnologiilor GIS și a analizelor avansate.

5. Educația și conștientizarea fenomenelor de risc, prin campanii de informare publică, poate avea rezultate pozitive în gestionarea riscurilor hidrologice din zonele afectate.

Propunem organizarea de campanii de informare și educare a publicului despre riscurile de inundații și măsurile de prevenire și reacție în caz de urgență.

De asemenea, în cazul autorităţilor de specialitate locale, recomandăm organizarea periodică de training-uri și simulări pentru intervenții de urgență.

6. Colaborare interinstituțională - asigurarea unei colaborări eficiente între autoritățile locale, regionale și naționale, precum și cu comunitățile locale, pentru implementarea măsurilor de management şi reacție la inundații. De asemenea, considerăm importantă încurajarea parteneriatelor între sectorul public și privat pentru dezvoltarea și finanțarea proiectelor de infrastructură și de reducere a riscului de inundații.

7. Cercetare și dezvoltare - susținerea cercetărilor privind noile tehnologii și metode de prevenire și gestionare a inundațiilor, inclusiv utilizarea modelelor digitale cu rezoluție mare și fotogrammetria aeriană (UAV). De asemenea, implementarea de proiecte pilot și studii de caz (exemplu, lucrarea de faţă) pentru a testa și evalua eficiența diferitelor măsuri de reducere a riscului de inundații.

Prin aplicarea acestor măsuri, se poate reduce semnificativ riscul de inundații în bazinul hidrografic al Crișului Alb, protejând astfel comunitățile locale, infrastructura și mediul înconjurător.

5.8. Concluzii şi discuţii

Inundațiile în bazinul Crișul Alb sunt influențate de multiple categorii de factori: hidrologici, morfometrici, de permeabilitate a terenului, de utilizare a terenului și antropici. Acești factori sunt interconectați și contribuie în mod complex la susceptibilitatea și severitatea inundațiilor. Înțelegerea interacțiunilor dintre acești

BUPT

factori este esențială pentru gestionarea riscului și implementarea măsurilor de prevenire și atenuare a efectelor inundațiilor.

Din categoria factorilor Hidrologici au fost luaţi în considerare precipitaţiile atmosferice şi densitatea drenajului.

Cantităţile mari de precipitaţii (923-1048 mm/an) căzute, au afectat, în mod special, partea centrală și nord-estică a bazinului, crescând semnificativ riscul de inundaţii. Cele mai mici valori medii multianuale s-au înregistrat la staţia meteo Vărădia de Mureș (465 mm), iar cele mai mari, la staţia meteo Roșia Montană (1146 mm).

Susceptibilitatea la inundaţii creşte proporţional cu densitatea drenajului. În sud-vestul bazinului analizat, densitatea este scăzută (0-0.3 km/km²), iar în sudul și nordul acestuia, densitatea este foarte mare (1.8-3.1 km/km²), crescând riscul de inundaţii.

Din categoria factorilor morfometrici au fost analizaţi următorii factori: elevaţia terenului, panta terenului şi distanţa faţă de râuri.

Zonele cu altitudini ridicate (861-1587 m) au un impact foarte scăzut asupra inundaţiilor datorită pantelor mari care favorizează scurgerea apei. În contrast, zonele de câmpie joasă (82-206 m) au un impact foarte mare în producerea inundaţiilor din cauza acumulării apei.

Pantele reduse (0-4º) favorizează acumularea apei, crescând riscul de inundaţii, în timp ce pantele mari (24-59º) favorizează scurgerea rapidă a apei, reducând riscul de inundaţii.

Zonele aflate la distanţe reduse faţă de râuri (0-100 m) sunt cele mai expuse la inundaţii, iar zonele aflate la distanţe mari (peste 701 m) sunt mai puţin expuse.

Factorii incluşi la categoria „Permeabilitatea terenului” au fost TWI („umiditatea peisajului”) şi tipurile de sol.

Zonele de câmpie, din bazinul Crişul Alb, cu pante reduse au valori foarte mari ale TWI (14.8-33.3), indicând o susceptibilitate mare la inundaţii. Zonele montane au valori reduse ale TWI (2.7-6.1), indicând o susceptibilitate scăzută la inundaţii.

Solurile argiloase, impermeabile, din zonele de câmpie ale zonei analizate, au un nivel foarte mare de susceptibilitate la inundaţii, iar solurile nisipoase, cu grad mare de permeabilitate, au un nivel redus de susceptibilitate la inundaţii.

Pentru caracterizarea utilizării terenului, s-au analizat modul (clasele) de utilizare a terenului şi gradul de acoperire a terenului cu vegetaţie, exprimat prin indicele NDVI.

Vegetaţia forestieră şi vegetaţia pajiştilor asigură o rată mare de infiltrare și un risc scăzut de inundaţii, iar terenurile agricole au un impact mare asupra inundaţiilor.

Zonele cu densitate mare a vegetaţiei, cum sunt zonele montane, acoperite de păduri şi pajişti, au un grad redus de susceptibilitate la inundaţii. Zonele de câmpie, dominate de terenuri arabile, cu densitate redusă a vegetaţiei, sunt mai vulnerabile la inundaţii.

Factorul antropic a fost exprimat prin distanţa faţă de drumuri. Terenurile aflate la distanţe mici faţă de drumuri (0-50 m) au un risc foarte mare de inundaţii, din cauza permeabilităţii scăzute prin restricţionarea infiltraţiei apei.

Ponderarea factorilor relevanţi prin metoda Analytic Hierarchy Process (AHP) a evidenţiat zece factori esenţiali care influenţează riscul de inundaţii în bazinul Crişului Alb. Fiecare factor are o pondere specifică în evaluarea riscului, reflectând importanţa sa relativă. Printre cei mai critici factori se numără distanţa faţă de râuri, precipitaţiile și TWI (Topographic Wetness Index). Înţelegerea detaliată a acestor ponderi permite dezvoltarea unor strategii eficiente pentru gestionarea și prevenirea

BUPT

inundațiilor, prin măsuri de management al terenului, monitorizarea continuă și planificarea adecvată a infrastructurii. Implementarea acestor măsuri poate reduce semnificativ impactul inundațiilor asupra comunităților și mediului.

Analiza susceptibilității la inundații în bazinul Crișul Alb arată că majoritatea suprafeței (61%) are un risc moderat de inundații, în special în zonele de dealuri și câmpiile joase, iar 12% din suprafață are un nivel mare de susceptibilitate, afectând în special depresiunile și câmpiile joase. Zonele cu risc foarte mare, deși reduse ca suprafață (2%), sunt critice deoarece includ așezări umane și terenuri agricole, amplificând impactul potențial al inundațiilor asupra populației și infrastructurii. Aceste rezultate subliniază necesitatea unor măsuri adecvate de gestionare a riscului și de protecție pentru comunitățile și activitățile economice din zonele vulnerabile.

Analiza impactului potențial al inundațiilor asupra claselor de utilizare a terenului arată că majoritatea terenurilor din zona de studiu sunt expuse unui risc moderat de inundații (61%), ceea ce necesită măsuri de protecție și gestionare adecvate pentru a atenua efectele negative. În special, zonele rezidențiale și suprafețele artificiale sunt predominant în categoria de risc moderat, iar terenurile agricole, plantațiile viticole și pomicole, pajiștile și pădurile prezintă diverse grade de vulnerabilitate care impun strategii de management specifice. În ansamblu, datele sugerează o vulnerabilitate semnificativă la inundații, subliniind necesitatea unei gestionări proactive pentru protejarea populației, infrastructurii și resurselor naturale.

Concluzia relevantă este că prin implementarea unui set complex și bine coordonat de măsuri de management, riscul de inundații în bazinul hidrografic al Crișului Alb poate fi semnificativ redus. Aceste măsuri includ îmbunătățirea infrastructurii hidrotehnice, managementul solului și vegetației, planificarea și managementul teritoriului, monitorizarea și alerta timpurie, educația și conștientizarea publicului, colaborarea interinstituțională și susținerea cercetării și dezvoltării. Prin aplicarea acestor strategii, se poate asigura protecția comunităților locale, a infrastructurii și a mediului înconjurător.

BUPT

6. MODELAREA SPAŢIALĂ A EROZIUNII SOLULUI PRIN TEHNICI GIS, CU APLICAŢII PENTRU ÎMBUNĂTĂŢIRILE FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: BAZINUL CRIŞUL ALB

Eroziunea solului este descrisă ca un proces natural influențat de factori precum precipitațiile, topografia, vegetația și activitățile umane. Acesta poate avea efecte devastatoare asupra solului, afectând productivitatea agricolă, calitatea apei și biodiversitatea. În contextul îmbunătăţirilor funciare, managementul eroziunii solului este esențial pentru menținerea fertilității solului și protejarea infrastructurii agricole. Modelarea spațială a eroziunii solului prin tehnici GIS (Geographic Information Systems) oferă un instrument puternic pentru înțelegerea și gestionarea acestui fenomen. În acest context, importanţa modelării spaţiale a eroziunii solului, se materializează prin [250]:

a. Identificarea zonelor vulnerabile. Prin utilizarea tehnicilor GIS, se pot crea modele digitale de elevaţie (Digital Elevation Models - DEM), modele spaţiale ale factorilor implicaţi şi modele ale eroziunii, care permit identificarea şi clasificarea zonelor cu diferite grade de risc la eroziune. Aceste zone pot fi monitorizate și gestionate în mod special pentru a preveni pierderea de sol.

b. Planificarea și implementarea măsurilor de control. GIS permite simularea diferitelor scenarii de management al solului, evaluând eficiența măsurilor de control, cum ar fi terasarea, utilizarea culturilor de acoperire și înființarea de bariere vegetative. Aceste simulări ajută la selectarea celor mai eficiente strategii de intervenție.

c. Monitorizarea și evaluarea impactului măsurilor. Tehnologiile GIS permit monitorizarea continuă a terenurilor și evaluarea impactului măsurilor implementate asupra eroziunii solului. Datele colectate pot fi analizate pentru a ajusta și îmbunătăți strategiile de gestionare.

d. Integrarea seturilor de date din surse multiple. GIS poate integra date din surse variate, cum ar fi imagini satelitare, date climatice, date despre utilizarea terenurilor și proprietățile solului. Această capacitate de integrare oferă o viziune holistică asupra factorilor care influențează eroziunea solului.

6.1. Scop şi obiective

Scopul cercetărilor din această secţiune a lucrării a fost aplicarea unui model complex de analiză spaţială, bazat pe tehnici GIS, pentru a identifica zonele susceptibile la eroziunea în suprafaţă a solului şi de a stabili intensitatea acestui fenomen, în diferite subzone ale bazinului Crişul Alb, în vederea furnizării de soluţii de îmbunătăţiri funciare.

Obiectivul general al cercetărilor a fost identificarea și evaluarea zonelor susceptibile la eroziunea solului prin aplicarea unui model complex de analiză spațială bazat pe tehnici GIS, date geospaţiale şi de teledetecţie, în vederea stabilirii

BUPT

intensității fenomenului de eroziune în suprafaţă, în diferite subzone ale bazinului Crișul Alb și propunerea de soluții pentru îmbunătățirile funciare necesare.

Dintre **obiectivele specifice** ale cercetărilor pot fi menţionate:

1. Colectarea și procesarea datelor spațiale și statistice (descriptive) relevante pentru bazinul Crișul Alb:

- obținerea datelor topografice, climatice, de utilizare a terenului și de sol;
- crearea unei baze de date GIS integrată (grafică şi descriptivă), necesară pentru analiza spațială a eroziunii în suprafaţă a solului;

2. Aplicarea și calibrarea modelului de eroziune a solului:

- utilizarea modelului USLE (Universal Soil Loss Equation) pentru a estima rata anuală a pierderilor de sol prin eroziunea în suprafaţă;
- calibrarea şi validarea modelului spaţial obţinut, în condiţiile specifice zonei de studiu şi compararea rezultatelor cu alte studii anterioare;

3. Analiza spațială a susceptibilității la eroziune:

- identificarea zonelor critice prin evaluarea factorilor de risc (panta, tipul de sol, utilizarea terenului, precipitațiile și alte variabile relevante);
- clasificarea şi cartografierea teritoriului bazinal în funcție de gradul de susceptibilitate la eroziune;

4. Evaluarea impactului eroziunii asupra terenurilor agricole și neagricole;

5. Propunerea de măsuri pentru îmbunătățirile funciare și gestionarea durabilă a terenurilor:

- identificarea și evaluarea măsurilor de conservare a solului și a apelor, cum ar fi terasarea, benzi vegetative, perdele forestiere, etc.;
- recomandarea unor strategii integrate de management al terenurilor pentru reducerea eroziunii și îmbunătățirea productivității agricole.

6.2. Materiale şi metode

6.2.1. Materiale şi software-uri utilizate

Delimitarea zonei de studiu s-a făcut conform Administraţiei Bazinale de Apă Crişuri. Pentru desfășurarea cercetărilor și implementarea fluxului de lucru, respectiv caracterizarea teritoriului şi calculul factorilor implicaţi în estimarea vulnerabilităţii la eroziunea în suprafaţă a solului, au fost utilizate următoarele seturi de date esențiale:

- date climatice, respectiv cantităţi de precipitaţii anuale din perioada 2013 – 2022, înregistrate la 11 staţii meteorologice din proximitatea zonei de interes [34], respectiv: Alba Iulia, Câmpeni (Bistra), Chişineu-Criş, Deva, Gurahonţ, Roşia Montană, Sânnicolau Mare, Sebeş (Alba), Şiria, Ştei (Petru Groza), Vărădia de Mureş;
- date pedologice, în format vectorial [133];
- Modelul Digital de Elevaţie (DEM), cu rezoluţia spaţială de 25 m [115], produs hibrid bazat pe date SRTM și ASTER GDEM. Din DEM s-a generat direcţia şi acumularea scurgerilor, dar şi harta pantelor;
- imagini satelitare Sentinel 2, din anul 2021, din lunile martie, mai, iulie, octombrie şi noiembrie [77]; pe baza acestora s-a generat harta NDVI, cu valori medii, la nivelul anului 2021.

Datele și informațiile științifice utilizate în cadrul cercetărilor din această secțiune au fost prelucrate prin diverse metode și software-uri, după cum urmează: imaginile satelitare au fost preprocesate şi procesate cu software-ul ESA SNAP 9.0.0 [311] pentru obținerea hărților NDVI; pentru prelucrarea datelor geospațiale, analize

BUPT

overlay și reprezentarea cartografică au fost utilizate software-urile ArcGIS 10.4 for Desktop [19] și QGIS 3.24.1 Tisler [281]; prezentarea rezultatelor a fost realizată cu ajutorul pachetului Microsoft Office 2016, iar editarea imaginilor, cu Adobe Photoshop CC 2018.

6.2.2. Metodologia de cercetare

Pentru estimarea cantităţii medii de sol pierdută anual prin eroziune şi pentru generarea hărţii susceptibilităţii la eroziunea solului, în teritoriul analizat, a fost utilizată Ecuaţia Universală a Eroziunii Solului (Universal Soil Loss Equation - USLE) formulată de Wischmeier şi Smith (1978) [364]. Această ecuaţie presupune produsul a cinci factori (Figura 6.1): erozivitatea precipitaţiilor (Rainfall erosivity - R), erodabilitatea solului (Soil erodibility - K), factorul topografic (Topographic Factor - LS), factorul referitor la efectul culturilor (Land cover management factor - C) şi factorul referitor la efectul lucrărilor de combatere a eroziunii (Conservation support Practice Factor - P) ([30]; [313]; [131]). Având în vedere faptul că pentru estimarea pierderilor de sol prin eroziune s-a aplicat USLE, în cele ce urmează vom folosi abrevierea factorilor conform acestui model.

O parte a cercetărilor din această secţiune au fost publicate în articolul cu titlul „GIS methods for estimating soil erosion and its impact on the environment. Case study: Crişul Alb hydrographic basin”, în jurnalul Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering (Vol. XIII 2024) [75].

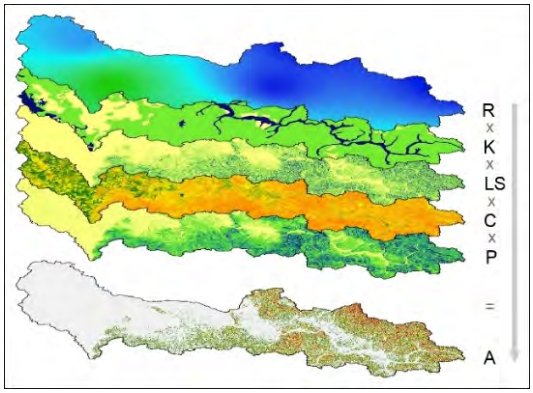


Figura 6.1. Metodologia de cercetare

Cei cinci factori USLE au fost spaţializaţi în GIS, sub forma hărţilor raster (Figura 6.1) cu rezoluţia spaţială la 25 m. Rezoluţia spaţială la care au fost obţinute rezultatele a fost condiţionată de datele geospaţiale disponibile, în special de DEM.

Pentru determinarea **Factorului R** (Rainfall erosivity), în abordarea iniţială, Wischmeier (1959) a calculat indicele de agresivitate pluvială (EI, în MJ/ha) ca produs între energia cinetică totală a ploii (E, în t/ha) şi intensitatea maximă a ploii în 30 minute (I30, în mm/h) ([379]; [30]). Având în vedere lipsa datelor climatice, în timp, s-au dezvoltat diferite metode pentru determinarea factorului R ([68]; [117]). În acest studiu, factorul R s-a calculat pe baza relaţiei (1) (Hurni, 1985, citat de [30]), iar pentru spaţializarea rezultatelor, s-a aplicat metoda de interpolare IDW (Inverse Distance Weighted) [19].

BUPT

$$R = 0.55 \times P - 4.7 \quad (1)$$

unde: R - erozivitatea precipitaţiilor (Rainfall erosivity factor, MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$); P – precipitaţii medii anuale (mm)

Factorul K (Soil erodibility), calculat pe baza ecuaţiei (2) (Wischmeier et al., 1971, citat de [313]), face referire la susceptibilitatea solului la eroziune sau altfel spus, exprimă rezistenţa solului la eroziune, caracteristică dată de proprietăţile fizice şi chimice ale acestuia. În cuantificarea factorului K se au în vedere, în special, textura, structura, permeabilitatea şi conţinutul în materie organică a solului ([30]; [313]; [12]).

$$100K = 2.1M^{1.14} \times 10^{-4} \times (12 - a) + 3.25 \times (b - 2) + 2.5(c - 3) \quad (2)$$

unde: K – erodabilitatea solului (Soil erodibility factor, t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$); M – parametru calculat ca [nisip foarte fin (%) + aluviuni (%)] × [100 – argilă (%)]; a – conţinutul în materie organică (%); b – structura solului (codificată); c – clasa de permeabilitate a solului.

Factorul LS (Topographic Factor), calculat cu relaţia (3) (Mitasova, 1996, citat de [379]), arată contribuţia topografiei asupra eroziunii solului şi reprezintă unul dintre cei mai complecşi şi dificil de estimat factori ai USLE [201]. Pe baza acestui considerent, în timp, au fost dezvoltaţi mai mulţi algoritmi de calcul al LS, care, în general, implică panta terenului, direcţia de scurgere şi acumularea scurgerii ([375]; [263]).

$$LS = \left(\frac{FA \times \text{cell size}}{22.13}\right)^{m} \times \left(\frac{\sin(\text{slope angle} \times 0.01745)}{0.9}\right)^{n} \quad (3)$$

unde: LS – factorul topografic (Topographic Factor, adimensional); FA – acumulările de apă posibile; cell size – dimensiunea pixelilor (rezoluţia spaţială) - 25 × 25 m; unghiul pantei – harta pantelor, în radiani; m = 0.5; n = 1.3 – valori exponenţiale.

Factorul C (Land cover management factor) exprimă efectul modului de utilizare a terenului şi al managementului acestora asupra eroziunii solului (Land cover management factor) ([289]; [30]). Parametri care au impactul cel mai ridicat asupra factorului C sunt reprezentaţi. în special. de gradul de acoperire a solului cu vegetaţie. coronamentul arborilor. rugozitatea terenului şi modul anterior de utilizare a acestuia ([379]; [70]). În acest studiu, factorul C a fost obţinut pe baza hărţii NDVI, conform relaţiei (4) (Van der Knijff et al., 2000, citat de [30]).

$$C = \exp\left[-\alpha \times \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}\right] \quad (4)$$

unde: C – factorul referitor la efectul culturilor (Land cover management factor, adimensional); NDVI, calculat cu relaţia (NIR-R)/(NIR+R) – NIR, banda de infraroşu apropiat; R, banda roşu; α = 2; β = 1.

Deşi în literatura de specialitate sunt descrişi diferiţi algoritmi pentru determinarea **Factorului P** (Conservation support practice factor), referitor la efectul lucrărilor de combatere a eroziunii ([121]; [124]; [294]), acesta este considerat unul

BUPT

dintre factorii „nesiguri" ai USLE, având în vedere lipsa datelor referitoare la practicile aplicate în teritoriu. Pe acest considerent, în calculul P s-a optat pentru aplicarea unui algoritm care se bazează pe panta terenului, conform relaţiei (5) (abordarea Wener, citată de [12]) şi care evidenţiază arealele cu risc major la eroziunea solului.

$$P = 0.2 + 0.03 \times S \quad (5)$$

unde: P – factor referitor la efectul lucrărilor de combatere a eroziunii (Conservation Support Practice Factor, adimensional); S – panta (%).

Cele cinci imagini raster obţinute pentru fiecare factor au fost înmulţite, conform relaţiei (6) ([30]; [313]; [131]), astfel fiind obţinută harta susceptibilităţii la eroziunea solului pentru teritoriul analizat.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (6)$$

unde: A – pierderea anuală de sol prin eroziune (t $ha^{-1}an^{-1}$); R, K, LS, C, P – factorii ecuaţiei USLE prezentaţi anterior.

Harta eroziunii solului a fost clasificată, în funcţie de intensitatea fenomenului, în cinci clase: cu rată foarte scăzută (tolerabilă) de sub 3 t $ha^{-1}an^{-1}$; cu rată scăzută, între 3,1 - 10 t $ha^{-1}an^{-1}$; cu rată moderată, între 11 - 20 t $ha^{-1}an^{-1}$; cu rată mare, între 21 - 40 t $ha^{-1}an^{-1}$ şi cu rată foarte mare de peste 41 t $ha^{-1}an^{-1}$ [315].

Prin analize de tip overlay (intersecţii spaţiale) a fost determinată incidenţa fenomenului de eroziune a solului la nivelul subbazinelor componente. De asemenea, s-a evaluat impactul fenomenului asupra claselor de utilizare a terenului.

6.3. Modelarea spaţială şi analiza factorilor contributori la producerea eroziunii în suprafaţă a solului

Modelarea spaţială a eroziunii solului reprezintă un instrument esenţial pentru înţelegerea, monitorizarea şi gestionarea acestui fenomen complex. Unul dintre modelele cele mai utilizate pentru estimarea pierderilor de sol datorate eroziunii este USLE (Universal Soil Loss Equation). Prin aplicarea acestui model se face estimarea cantitativă a eroziunii prin evaluarea unor factori cheie care contribuie la acest proces, respectiv erozivitatea precipitaţiilor (Rainfall erosivity - R), erodabilitatea solului (Soil erodibility - K), factorul topografic (Topographic Factor - LS), factorul referitor la efectul culturilor (Land cover management factor - C) şi factorul referitor la efectul lucrărilor de combatere a eroziunii (Conservation Support Practice Factor - P).

6.3.1. Erozivitatea precipitaţiilor

Factorul R (Rainfall Erosivity) sau erozivitatea precipitaţiilor, este un parametru crucial în ecuațiile USLE (Universal Soil Loss Equation) și RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation).

Factorul R măsoară energia cinetică a precipitațiilor și capacitatea acestora de a provoca eroziunea solului sau altfel spus, se referă la capacitatea picăturilor de ploaie de a provoca eroziunea prin desprinderea şi mobilizarea particulelor de sol [12].

BUPT

Este exprimat în MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$ și este calculat pe baza intensității și volumului precipitațiilor.

Factorul R poate fi aplicat, cu abordări multiple, pe diferite tipuri de date climatice şi pentru diferite regiuni ale Globului. Un studiu elaborat de Talchabhadel şi colab. (2020) [334] a evaluat impactul schimbărilor climatice asupra pierderii solului în bazinul râului Westrapti, folosind date zilnice de precipitații pentru a calcula Factorul R. Valoarea R obținută în acest studiu a variat între 200 și 700 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$, evidențiind variabilitatea spatială și temporală a eroziuni provocate de precipitații în această regiune montană. Un alt studiu aplicat în districtul Dolakha (Nepal) a folosit modelarea RUSLE pentru a evalua eroziunea solului, calculând Factorul R pe baza datelor de precipitații pe termen lung. Valorile R raportate au variat între 300 - 600 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$, reflectând influența topografiei și a variabilității climatice asupra eroziunii solului [341].

În cadrul acestui studiu, factorul R (Figura 6.2) a fost determinat pe baza ecuaţiei propusă de Hurni (1985), citat de [30] (Relaţia 1).

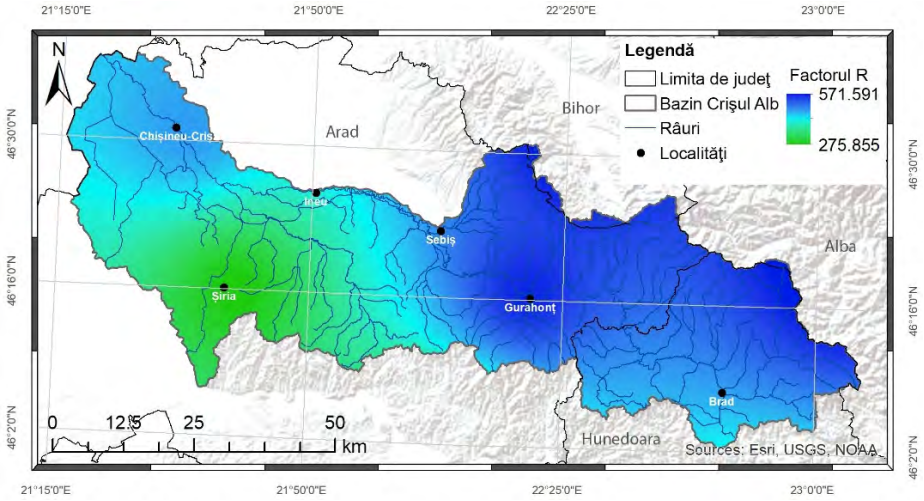


Figura 6.2. Harta distribuţiei Factorului R (MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$) în zona de studiu

În zona de studiu, precipitaţiile medii multianuale, în perioada 2013 – 2022, sunt distribuite neuniform; cantităţile de precipitaţii au variat între 247 mm (Alba Iulia, 2013) şi 1739 mm (Rusca Montană, 2021).

Pe baza valorilor medii multianuale ale precipitaţiilor, a fost generată harta factorului R (Figura 6.2). Se observă valori minime de 275.85 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$, în sud-vest, în zona de câmpie joasă, ceea ce sugerează că precipitațiile au o capacitate de eroziune mai redusă, la nivelul acestor subzone. Valorile maxime de 571.59 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$, caracterizează partea centrală şi zona montană, ceea ce înseamnă că în aceste zone, precipitațiile sunt mai intense și au o capacitate mai mare de a provoca eroziune a solului.

La nivelul teritoriului analizat, Factorul R poate fi influenţat atât de tiparele climatice, cât și de caracteristicile topografice ale regiunii. Regiunile muntoase din est pot avea valori mai mari din cauza pantei abrupte și a cantității mai mari de precipitații.

BUPT

Valorile ridicate ale Factorului R din estul regiunii indică o necesitate mai mare de măsuri de conservare a solului, cum ar fi terasarea şi utilizarea vegetaţiei de protecţie. Zonele cu valori mai scăzute pot necesita măsuri mai puţin intensive, dar monitorizarea constantă rămâne esenţială pentru a preveni degradarea solului.

O serie de lucrări ştiinţifice ([37]; [192]) relevă importanţa determinării riscului de eroziune în dezvoltarea strategiilor de gestionare a solului pentru prevenirea degradării terenurilor.

6.3.2. Erodabilitatea solului

Factorul K (erodibilitatea solului) din ecuaţiile USLE şi RUSLE este un parametru esenţial pentru evaluarea vulnerabilităţii solului la eroziune (Figura 6.3). Factorul K reflectă susceptibilitatea solului la procesele de detaşare şi transport a particulelor de sol cauzate de impactul picăturilor de ploaie şi scurgerile de suprafaţă ([159]; [87]).

Importanţa Factorului K derivă din necesitatea de a cuantifica modul în care proprietăţile solului contribuie la eroziune. Factorul K este influenţat de mai mulţi parametri, inclusiv textura solului (procentul de nisip, argilă şi mâl), conţinutul de materie organică, structura solului şi permeabilitatea acestuia.

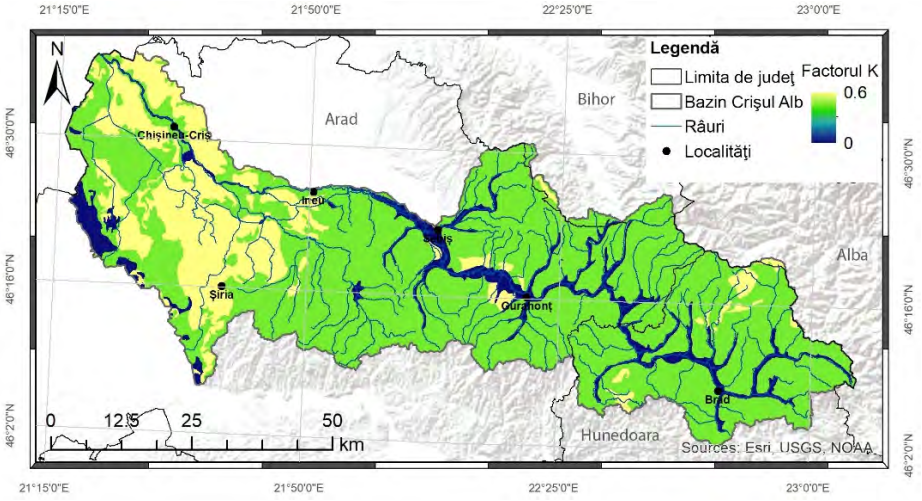


Figura 6.3 Harta distribuţiei Factorului K (t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$) în zona de studiu

Solurile zonei analizate sunt repartizate în concordanţă cu factorii fizico-geografici: în zonele montane şi de deal, predomină districambosolurile şi luvosolurile, iar în zonele joase, cernoziomurile, eutricambosolurile şi aluviosolurile.

În cazul zonei de studiu, valorile factorului K se încadrează între 0.04 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$, în cazul solurilor nisipoase şi 0.6 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$, în cazul solurilor argiloase (Figura 6.3). Valorile scăzute (0 - 0.2 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$), predomină în partea centrală şi estică a bazinului. Valorile medii (0.2 - 0.4 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$) sunt distribuite sporadic în diferite părţi ale bazinului, iar valorile ridicate (0.4 - 0.6 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$) se găsesc, în special, în zonele apropiate de cursurile râurilor principale şi în zonele de câmpie.

BUPT

În literatura de specialitate sunt prezentate numeroase studii care utilizează factorul K, prin diferite metode şi abordări. Spre exemplu, Factorul K a fost evaluat folosind modelul EPIC pe baza datelor obţinute prin sondaje în sol; valorile K au variat între 0.039 şi 0.052 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$ [159]. Alte studii, bazate pe modelul RUSLE şi GIS, au identificat factorii de risc şi eroziune a solului; s-a demonstrat că valorile factorului K au variat în funcţie de proprietăţile fizice ale solului şi de utilizarea terenului ([87]; [247]).

6.3.3. Topografia terenului

Factorul LS este un component esenţial în modelele USLE şi RUSLE utilizate pentru estimarea eroziunii solului şi face referire la impactul topografiei asupra proceselor erozionale. Acest factor reflectă influenţa topografiei asupra riscului de eroziune. Mai precis, LS combină efectele lungimii pantei (L) şi înclinării pantei (S), ambele având un impact direct asupra cantităţii de sol pierdute prin eroziune [12]. Cu cât panta este mai lungă şi mai abruptă, cu atât riscul de eroziune a solului este mai mare ([202]; [191]), datorită energiei cinetice crescute a apei care curge pe pantă ([341]; [220]).

Factorul LS este utilizat pentru a evalua şi compara diferite terenuri în funcţie de susceptibilitatea lor la eroziune. De exemplu, terenurile cu pante lungi şi abrupte au un factor LS mai mare şi, prin urmare, un risc de eroziune mai mare comparativ cu terenurile plate sau cu pante scurte şi uşor înclinate. Estimările precise ale factorului LS sunt esenţiale pentru a planifica măsuri de conservare a solului şi pentru a implementa practici de management care reduc eroziunea ([134]; [220]).

Ideea de mai sus este susţinută de numeroase cercetări ştiinţifice, printre care şi studiul realizat în districtul Dolakha, Nepal, de P. Thapa (2020) [341]. În acest studiu, LS a fost calculat utilizând un model GIS integrat cu DEM, iar valorile sale au variat în funcţie de topografia locală, fiind în general mai mari în zonele cu pante abrupte. Această variabilitate a fost esenţială pentru identificarea zonelor cu risc crescut de eroziune (Figura 6.4).

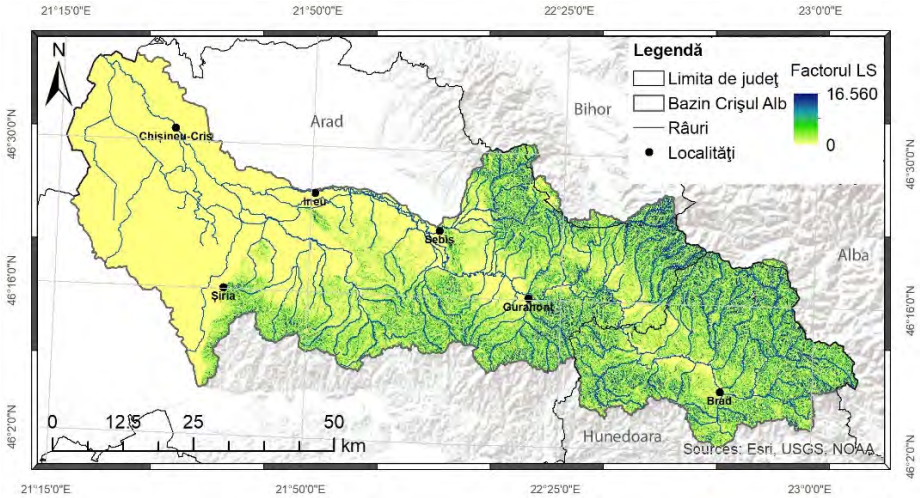


Figura 6.4 Harta distribuţiei Factorului LS în zona de studiu

BUPT

Harta factorului LS (Figura 6.4) oferă informaţii esenţiale despre potenţialul de eroziune a solului datorită topografiei, în bazinul hidrografic al Crişului Alb.

În zona de studiu, relieful este complex şi variază între 82 – 1587 m, iar panta terenului se încadrează între 0 - 59º. În aceste condiţii LS are valori cuprinse între 0 – 16.56 (Figura 6.4).

Valori scăzute ale LS (0 - 5), predomină în partea de vest a bazinului, care se suprapune zonelor de câmpie, cu relief mai domol.

Valori medii ale LS (5 - 10) caracterizează zonele cu pante moderate şi cele situate în proximitatea râurilor, iar valorile ridicate ale factorului topografic (10 - 16.560) se regăsesc în zonele cu pante abrupte, în special în partea de est şi sud a bazinului, unde relieful este mai accidentat, suprapus zonelor montane (Figura 6.4).

Zonele cu pante abrupte şi lungi au valori mai mari ale factorului LS, ceea ce indică un risc mai mare de eroziune a solului în aceste regiuni.

Harta factorului LS poate fi utilizată pentru a identifica zonele cu risc ridicat de eroziune şi pentru a planifica măsuri de management al terenurilor şi apelor. Zonele cu valori ridicate ale factorului LS ar trebui să fie prioritizate pentru implementarea măsurilor de prevenire a eroziunii, cum ar fi terasarea, păstrarea vegetaţiei naturale sau alte tehnici de conservare a solului.

6.3.4. Modul de utilizare a terenului

Factorul C sau factorul de gestionare a acoperirii terenului, este un element crucial al ecuaţiilor USLE şi RUSLE. Acest factor reflectă efectul practicilor de gestionare a terenului şi a acoperirii vegetale asupra ratei eroziunii solului. Este unul dintre cei mai variabili şi dificil de cuantificat factori din aceste ecuaţii, datorită sensibilităţii sale la schimbările spaţio-temporale şi complexităţii implicate în integrarea mai multor subfactori.

Importanţa Factorului C rezidă în capacitatea sa de a cuantifica influenţa diferitelor practici de utilizare a terenului şi a vegetaţiei asupra eroziunii solului. Practicile agricole, tipurile de culturi, metodele de gestionare a terenului şi acoperirea vegetală sunt toate aspecte care pot modifica semnificativ valoarea acestui factor ([351]; [366]).

Într-un studiu realizat de Xiong şi colab. (2023) [366], s-au analizat metodele de cuantificare a Factorului C în 946 de articole ştiinţifice publicate, identificând şase categorii principale de metode. Studiul a evidenţiat că utilizarea indicilor de vegetaţie (VIs) pentru cuantificarea Factorului C este eficientă în studiile la scară mare, mai ales când se iau în considerare variaţiile spaţiale şi spatio-temporale.

Un alt studiu ştiinţific a utilizat imagini de înaltă rezoluţie pentru a modela Factorul C într-un bazin semiarid. Studiul a demonstrat că indicii de vegetaţie, precum NDVI, sunt eficienţi pentru monitorizarea Factorului C în timp, iar valorile obţinute au arătat o variabilitate semnificativă în funcţie de densitatea şi tipul de vegetaţie prezentă [351].

Un studiu aplicat într-un bazin tropical a folosit seriile temporale NDVI pentru a monitoriza Factorul C. Valorile acestuia au variat de la 0.01 în zonele cu acoperire vegetală densă până la 0.5 în zonele defrişate sau cultivate intens, subliniind impactul puternic al vegetaţiei asupra eroziunii solului [29].

În cazul acestui studiu, factorul C (Figura 6.5) a fost determinat, de asemenea, pe baza NDVI derivat din imagini satelitare Sentinel 2 [102].

În bazinul Crişului Alb, în anul 2021, valorile medii ale NDVI au fost cuprinse între -0.21 – 0.63. Valorile mimine sunt specifice zonelor neacoperite de vegetaţie

BUPT

(ape, drumuri sau terenuri agricole arate sau recoltate), iar valorile maxime caracterizează suprafeţele forestiere, din zonele montane.

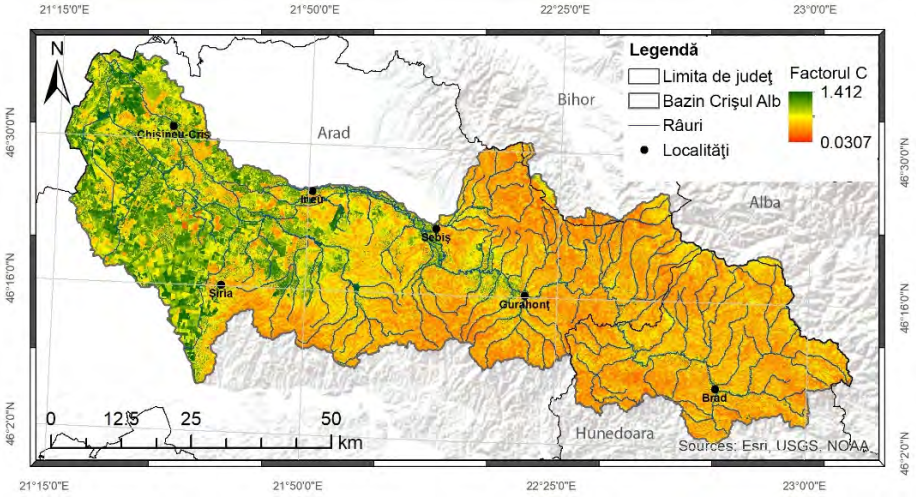


Figura 6.5 Harta distribuţiei Factorului C în zona de studiu

Factorul C, calculat pe baza imaginilor satelitare, a avut valori cuprinse între 0.03 – 1.41 (Figura 6.5).

Valorile maxime ale factorului C, corespund zonelor de câmpie, în care predomină terenurile agricole, cu grad mai redus de acoperire a solului şi deci potenţial de protecţie împotriva eroziunii mai scăzut.

Valorile factorului C scad spre altitudinile superioare, la care predomină etajele forestiere, care oferă un grad ridicat de protecţie a solului la eroziune.

6.3.5. Efectul lucrărilor de combatere a eroziunii solului

Factorul P, cunoscut și sub denumirea de Factorul Practicilor de Conservare, reprezintă efectul practicilor de conservare aplicate pe terenuri agricole pentru a reduce eroziunea solului. Practicile includ, printre altele, agricultura în benzi, terasarea și utilizarea benzilor de vegetație [11].

Factorul P defineşte impactul modului de utilizare a terenului şi al practicilor agricole şi neagricole asupra eroziunii solului, aşadar cuantifică influenţa strategiilor de conservare în apariţia şi manifestarea proceselor erozionale [12].

În cazul zonei de interes, factorul P a avut valori cuprinse între 0.2 – 5.2 (Figura 6.6).

Factorul P a avut valori minime în zonele de câmpie, în depresiuni şi luncile râurilor, pe terenuri cu pantă redusă. Valorile P cresc în zonele de deal şi munte, concomitent cu creşterea valorii pantelor.

Harta factorului P poate fi utilizată pentru a identifica zonele unde sunt necesare intervenții pentru a îmbunătăți practicile de conservare a solului și pentru a reduce eroziunea.

BUPT

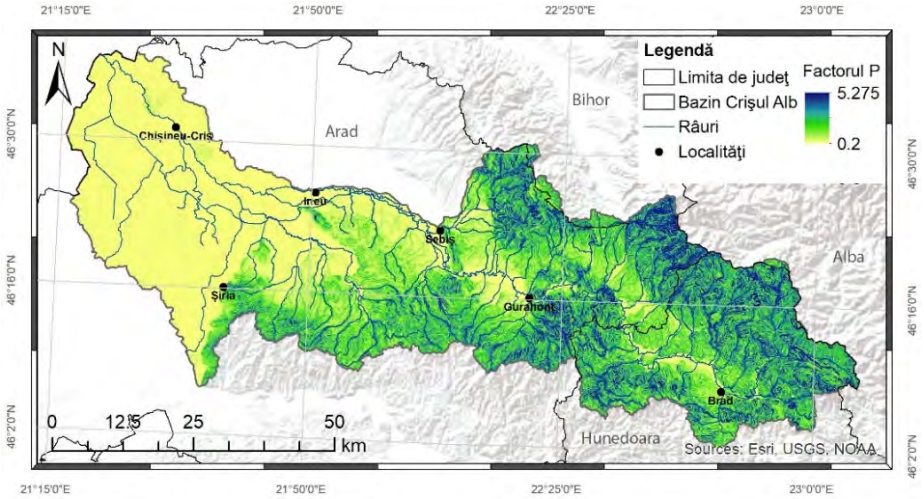


Figura 6.6 Harta distribuţiei Factorului P în zona de studiu

Zonele cu valori ridicate ale factorului P ar trebui să fie prioritizate pentru implementarea măsurilor de conservare a solului, cum ar fi terasarea, rotația culturilor, plantarea benzilor de vegetație și alte tehnici care ajută la reducerea riscului de eroziune.

6.4. Estimarea susceptibilităţii la eroziunea în suprafaţă a solului în bazinul Crişul Alb

Eroziunea solului reprezintă o problemă majoră, având multiple efecte negative asupra mediului și economiei. Din punct de vedere ecologic, eroziunea duce la pierderea stratului fertil de sol, ceea ce scade productivitatea agricolă și afectează biodiversitatea. De asemenea, produce poluarea râurilor și lacurilor, prin diferite particole solide sau substanţe nespecifice, degradând calitatea apei și afectând ecosistemele acvatice. Pe plan socio-economic, eroziunea solului poate duce la scăderea veniturilor fermierilor, creșterea costurilor de irigație și necesitatea de a importa alimente, având un impact negativ asupra economiilor locale și regionale.

La nivel global, utilizarea modelului USLE și a variantelor sale, precum RUSLE și MUSLE, a permis evaluarea și gestionarea eroziunii solului în diverse regiuni. Studiile au arătat că ratele de eroziune variază semnificativ în funcție de factori precum tipul de sol, topografia, climatul și practicile de gestionare a terenurilor. În regiunile cu agricultură intensivă, cum ar fi părți ale Asiei, Americii de Sud și Africii, ratele de eroziune pot ajunge la 30 - 40 t/ha/an, în timp ce în pădurile neperturbate aceste rate sunt mult mai mici, între 0.004 - 0.05 t/ha/an [37].

Evaluarea pierderilor medii anuale de sol, în bazinul Crişului Alb (Figura 6.7), a fost făcută pe imaginea raster cu rezoluţia spaţială de 25 m, rezultată prin înmulțirea hărţilor raster ale celor cinci factori USLE (R, K, LS, C și P) în ArcGIS 10.4.

În bazinul Crişului Alb, rata medie de eroziune a solului are valoarea de 2.60 t $ha^{-1}an^{-1}$. Această valoare este mai redusă decât valoarea stabilită de către Patriche şi colab. (2019) [258], de 2.98 t $ha^{-1}an^{-1}$, prin modelul ROMSEM sau de către Panagos şi colab. (2015) [254], prin modelul UE, de 2.84 t $ha^{-1}an^{-1}$.

BUPT

La nivelul zonei de studiu, rata de eroziune a solului se încadrează între 0 şi peste 41 t $ha^{-1}an^{-1}$ (Figura 6.7). În funcţie de nivelul de severitate, harta eroziunii solului la nivelul bazinului Crişul Alb, a fost împărţită în cinci clase [315]: rata foarte scăzută (tolerabilă) de sub 3 t $ha^{-1}an^{-1}$; rata scăzută, între 3,1 - 10 t $ha^{-1}an^{-1}$; rata moderată, între 11 - 20 t $ha^{-1}an^{-1}$; rata mare, între 21 - 40 t $ha^{-1}an^{-1}$ şi rată foarte mare de peste 41 t $ha^{-1}an^{-1}$.

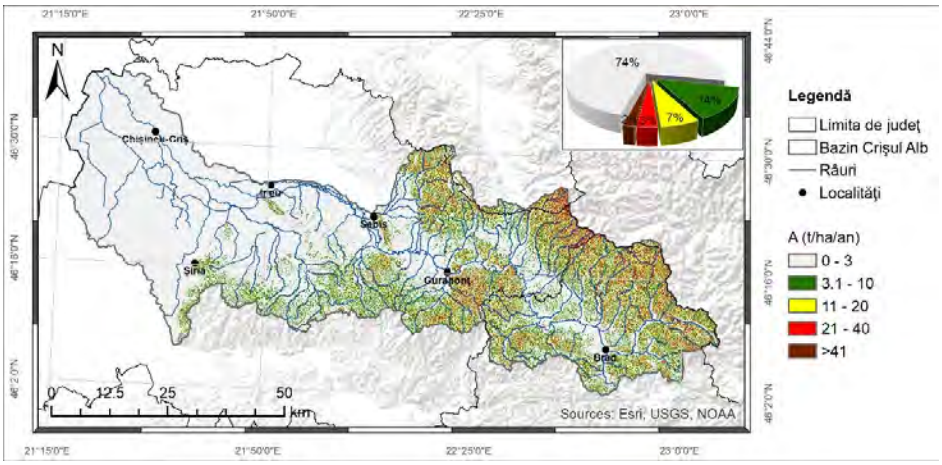


Figura 6.7 Harta eroziunii solului (t $ha^{-1}an^{-1}$), în bazinul Crişul Alb

Din figura 6.7, se observă că 74% din teritoriu se încadrează la clasa de susceptibilitate la eroziune foarte scăzută (sub 3 t $ha^{-1}an^{-1}$), terenuri care sunt localizate în zona de câmpie joasă, în luncile râurilor şi în depresiuni, la baza versanţilor. În clasa cu rată scăzută (3.1-10 t $ha^{-1}an^{-1}$), sunt încadrate 14% din terenuri; 7% au fost clasificate cu rate moderate, iar 4% cu rate ale eroziunii ridicate (21 – 40 t $ha^{-1}an^{-1}$) şi foarte ridicate (peste 41 t $ha^{-1}an^{-1}$).

Ratele ridicate ale pierderilor de sol prin eroziune, caracterizează, în general, zonele cu cantităţi mari de precipitaţii, cu soluri argiloase şi valori mari ale pantelor, din zonele premontane şi montane.

Harta riscurilor la eroziune (Figura 6.7) arată că distribuţia spaţială a pierderii de sol medii anuale, în bazinul analizat, a fost variabilă, cu valori minime în jumătatea vestică, aferentă câmpiei şi dealurilor joase şi valori maxime în jumătatea estică, în zonele înalte.

În ceea ce priveşte impactul asupra localităţilor şi infrastructurii, localităţile principale din bazinul analizat sunt situate în zone cu eroziune relativ scăzută, ceea ce ar putea reduce riscul de daune majore asupra infrastructurii.

Localităţile Ineu, Sebiș, și Gurahonț sunt situate aproape de râuri, sugerând o posibilă influență a eroziunii aluviale, dar datele nu indică o eroziune majoră în aceste zone.

Distribuția eroziunii solului în bazinul Crișul Alb este în mare parte scăzută, cu zone concentrate de eroziune mai mare în regiuni specifice. Majoritatea teritoriului prezintă o eroziune de 0 - 3 t/ha/an, indicând o situație relativ stabilă din punct de vedere al conservării solului. Datele sugerează că intervențiile pentru controlul eroziunii ar trebui să fie concentrate în zonele identificate cu eroziune ridicată.

În România, cercetările asupra eroziunii solului au evidențiat provocările specifice generate de topografia variată și de practicile agricole locale. Studiile

BUPT

realizate în diverse bazine hidrografice au utilizat USLE și variantele sale pentru a modela pierderea de sol și a propune măsuri de conservare.

În zona minieră Roşia Montană, studiul realizat de Ştefănescu şi colab. (2011) [332] a raportat o rată medie de eroziune a solului de 12,5 t/ha/an. În alt studiu, Patriche şi colab. (2006) [257], prin modelare spațială utilizând USLE/RUSLE, a indicat rate de pierdere a solului între 5 și 30 t/ha/an, în funcţie de utilizarea terenului şi topografie. Analiza dimensională realizată de P. Cardei (2010) [60] a relevat rate de eroziune a solului între 7 și 25 t/ha/an, cu variații semnificative în diferite regiuni.

6.5. Evaluarea impactului eroziunii în profil teritorial

Eroziunea solului reprezintă un proces natural accelerat de activităţile umane, cu efecte semnificative asupra mediului și utilizării terenurilor. Evaluarea impactului său în profil teritorial implică analiza variabilității acestui fenomen în funcție de diverse caracteristici geografice și antropice.

Impactul eroziunii, în profil teritorial, la nivelul zonei analizate, se manifestă diferenţiat, în două subzone semnificative, cu condiţii de mediu specifice:

a. zonele montane și premontane sunt cele mai afectate de eroziune datorită pantei abrupte și a precipitațiilor abundente. Aici, eroziunea poate duce la pierderi semnificative de sol fertil, afectând agricultura și silvicultura;

b. în zonele de câmpie, eroziunea este, în general, mai redusă, dar poate fi amplificată de practicile agricole intensive și de lipsa vegetației naturale. În aceste regiuni, eroziunea duce la scăderea productivității agricole și la colmatarea corpurilor de apă.

Impactul eroziunii solului în profil teritorial este complex și variabil, influențat de factori naturali și umani. Gestionarea eficientă a acestui fenomen necesită o evaluare detaliată și implementarea de strategii adaptate specificului regional. Înțelegerea distribuției spațiale și a factorilor determinanți ai eroziunii este esențială pentru a proteja solurile, a menține productivitatea agricolă și a asigura durabilitatea infrastructurii și a ecosistemelor.

6.5.1. Analiza impactului la nivel de subbazine componente

Pentru a analiza impactul eroziunii solului în diversele subbazine ale bazinului Crișului Alb, vom examina distribuția claselor de susceptibilitate la eroziune pentru fiecare subbazin. Valorile sunt împărțite în cinci clase de susceptibilitate la eroziune, iar distribuția procentuală pentru fiecare clasă oferă o imagine reală a impactului eroziunii în fiecare subbazin (Tabelul 6.1).

Clasificarea subbazinelor în funcție de susceptibilitatea la eroziune (Tabelul 6.1), poate fi făcută astfel:

1. Subbazine cu eroziune foarte scăzută (0 - 3 t/ha/an), în cazul următoarelor entităţi: Topasca (92%); Cleja (92%); Hodis (93%); Potoc (97%); Trei Holamburi (99%); Gut (97%); Cigher (87%); Valea Nouă Chiser (100%); Canalul Morilor (100%).

În aceste zone ale subbazinelor este semnalată cea mai mică susceptibilitate la eroziune, indicând un risc minim pentru pierderea solului. Măsurile de conservare pot fi minime, fiind necesare doar măsuri de menţinere a stării actuale.

2. Subbazine cu eroziune scăzută (3.1 - 10 t/ha/an), în cazul următoarelor entităţi: Valea Mare (30%), Valea Laptelui (25%), Plai (24%).

BUPT

Aceste zone ale subbazinelor au o proporție semnificativă de terenuri cu eroziune scăzută. Cu toate acestea, este importantă monitorizarea continuă și implementarea unor practici agricole care să prevină creșterea eroziunii.

Tabelul 6.1

Modelarea eroziunii pe clase de severitate (rate de eroziune), la nivel de subbazin

Subbazin	Clasa de susceptibilitate la eroziune ($t\ ha^{-1}an^{-1}$)				
	0 - 3	3.1 - 10	11 - 20	21 - 40	>41
Crisul Alb	78	11	6	4	2
Valea Satului	40	27	18	11	5
Birtin	50	27	14	7	2
Vata	52	27	13	6	1
Obarsa	70	18	7	4	1
Pravaleni	51	27	14	7	2
Ociu	84	13	3	1	0
Banesti	44	22	16	12	7
Leasa	89	11	1	0	0
Valea de la Lazuri	55	17	11	10	7
Valea Mare	41	30	17	9	3
Tacasele	69	20	7	3	1
Artan	38	26	20	12	4
Gruiet	59	25	10	4	1
Sighisoara	48	28	15	8	2
Zimbru	61	25	9	4	1
Mustesti	77	18	4	1	0
Fenis	80	16	3	1	0
Crocna	64	21	9	5	1
Bodesti	72	20	6	2	0
Dumbravita	69	17	9	4	1
Craicova	77	13	7	3	1
Almas	67	26	6	1	0
Topasca	92	7	1	0	0
Chisindia	60	28	9	3	1
Cleja	92	6	1	0	0
Sebis	60	20	12	6	2
Hodis	93	6	0	0	0
Potoc	97	3	0	0	0
Trei Holamburi	99	1	0	0	0
Gut	97	3	1	0	0
Cigher	87	11	2	0	0
Luncoiu	61	24	10	4	1
Valea Noua Chiser	100	0	0	0	0
Canalul Morilor	100	0	0	0	0
Brad	57	27	11	5	1
Junc	52	25	14	7	2
Ribita	40	24	18	12	6
Tebea	58	26	11	5	1
Baldovin	63	24	9	3	1
Valea Laptelui	35	25	19	13	7
Plai	31	24	22	14	9
Bucuresci	52	27	13	6	2
Total	315417	58786	27446	14628	5811
% din total	74	14	6	3	1

BUPT

3. Subbazine cu eroziune moderată (11 - 20 t/ha/an), în următoarea situaţie: Valea Satului (18%), Birtin (14%), Valea Mare (17%), Artan (20%).

Zonele din subbazinele cu eroziune moderată necesită intervenţii mai susţinute pentru a preveni agravarea eroziunii. Tehnici de conservare a solului și reîmpădurirea ar putea fi necesare.

4. Subbazine cu eroziune mare (21 - 40 t/ha/an), se regăsesc în: Valea Satului (11%), Bucuresci (6%), Ribita (12%), Valea Laptelui (13%), Plai (14%).

În aceste zone ale subbazinelor, eroziunea este semnificativă și ar putea avea efecte negative asupra agriculturii și infrastructurii. Proiectele de terasare şi alte măsuri de protecție a solului sunt necesare pentru a preveni degradarea severă.

5. Subbazine cu eroziune foarte mare (>41 t/ha/an), în cazul subbazinului Valea Satului, unde se manifestă în proporţie de 5%; subbazinul Bucuresci, în proporţie de 2%, subbazinul Valea Laptelui, în proporţie de 7% şi în subbazinul Plai, în procent de 9%.

În aceste zone ale subbazinelor, se prezintă cel mai mare risc de eroziune. Intervențiile trebuie să fie urgente și susținute pentru a preveni pierderi catastrofale de sol. Restaurarea vegetației și implementarea unor bariere fizice împotriva eroziunii sunt cruciale.

Analiza subbazinelor din bazinul Crișului Alb, pe clase de susceptibilitate la eroziune evidențiază variația semnificativă a acestui fenomen, în profil teritorial. Majoritatea subbazinelor prezintă eroziune foarte scăzută, dar există anumite zone ale subbazinelor cu rate semnificative de eroziune, care necesită intervenții urgente. Măsurile de conservare a solului, reîmpădurirea și practicile agricole durabile sunt esențiale pentru a preveni degradarea terenurilor și pentru a menține productivitatea agricolă și stabilitatea infrastructurii în aceste regiuni.

6.5.2. Analiza impactului asupra claselor de utilizare a terenului

1. Spațiul construit și suprafețele artificiale prezintă o eroziune scăzută (0-3 t/ha/an), pe 96% din suprafaţa totală, respectiv 91%, pentru suprafeţele artificiale (Tabelul 6.2).

Datorită naturii lor, aceste zone sunt bine gestionate și protejate împotriva eroziunii, având infrastructuri care reduc expunerea solului.

2. Terenurile arabile și orezăriile au o susceptibilitate foarte scăzută la eroziune (99% și 100%) fiind încadrate în clasa de eroziune de 0-3 t/ha/an (Tabel.

Ratele mici ale eroziunii din aceste clase de utilizare a terenului se explică, în mare măsură, prin localizarea lor în zone plane, de câmpie.

3. Plantațiile viticole au o distribuţie moderată a eroziunii, cu 85% în categoria 0-3 t/ha/an, 13% în categoria 3.1-10 t/ha/an şi doar 2% în categoria 11 – 20 t/ha/an.

4. Plantațiile pomicole au o susceptibilitate mai ridicată la eroziune, comparativ cu alte categorii de utilizare a terenului; acestea sunt distribuite în toate formele de relief, în special în zonele de dealuri, caracterizate de pante mai mari şi soluri cu texturi lutoase. Plantațiile pomicole se include, în proporţie de 78% în categoria 0-3 t/ha/an, restul suprafeţelor fiind distribuite în categoriile de eroziune mai ridicată.

5. Pajiștile și terenurile agricole eterogene prezintă o distribuție similară a eroziunii, cu majoritatea terenurilor având eroziune scăzută: 85%, în cazul pajiştilor, respectiv 76%, în cazul terenurilor agricole eterogene, se încadrează în categoria de

BUPT

eroziune de 0-3 t/ha/an. Totuși, există o prezență semnificativă în categoriile de eroziune moderată și ridicată.

Tabelul 6.2

Modelarea claselor de utilizare a terenului în funcţie de severitatea eroziunii (rate de eroziune)

Clasa de utilizare a terenului	Clasa de susceptibilitate la eroziune (t $ha^{-1}an^{-1}$)					Suprafaţa totală	
	0-3	3.1-10	11-20	21-40	>41	ha	%
	Ponderea (%)						
Spaţiu construit	96	3	1	0	0	16236	100
Suprafeţe artificiale	91	4	2	2	1	485	100
Teren arabil	99	1	0	0	0	119501	100
Orezării	100	0	0	0	0	140	100
Plantaţii viticole	85	13	2	0	0	3312	100
Plantaţii pomicole	78	15	5	2	1	4970	100
Pajişti	85	10	4	2	1	61140	100
Terenuri agricole eterogene	76	15	6	2	1	33110	100
Păduri	52	25	13	7	3	176085	100
Vegetaţie arbustiferă	60	21	10	6	3	4079	100
Alte terenuri	100	0	0	0	0	3029	100
Total	74	14	7	3	1	422103	100

6. Pădurile (52%) și vegetația arbustiferă (60%) se încadrează în categoria de eroziune 0-3 t/ha/an, restul fiind distribuite în categoriile mai ridicate de eroziune. Acest fapt reflectă influența topografiei (pante abrupte) și a precipitațiilor în aceste regiuni.

7. Alte terenuri (terenuri umede şi corpuri de apă) nu prezintă eroziune.

Această analiză evidențiază importanța măsurilor de gestionare a solului pentru prevenirea și reducerea eroziunii, asigurând astfel durabilitatea utilizării terenurilor în bazinul Crișului Alb.

În bazinul Crișului Alb, rata de eroziune variază între 0 și peste 41 t/ha/an, majoritatea teritorului având o eroziune foarte scăzută (<3 t/ha/an). Zonele cu eroziune ridicată sunt concentrate în regiunile premontane și montane.

Localitățile situate în zone cu eroziune ridicată sunt mai vulnerabile la pierderi de sol și daune asupra infrastructurii. Zonele de câmpie joasă și luncile râurilor sunt mai puțin afectate, ceea ce reduce riscurile pentru agricultură și locuințe.

6.6. Măsuri de management pentru reducerea efectelor şi combaterea eroziunii solului

Pentru a aborda problema eroziunii solului în bazinul Crișului Alb, este esențial să implementăm o serie de măsuri care să vizeze factorii determinanți ai eroziunii, identificați prin modelarea spațială și analiza factorilor contributori.

În urma analizelor geospaţiale, care au implicat toţi factorii contributori, recomandăm următoarele măsuri specifice pentru reducerea şi combaterea efectelor eroziunii în suprafaţă a solului, în zona analizată:

1. Gestionarea precipitațiilor:

- construirea de terase și baraje mici pentru a reduce impactul precipitațiilor asupra solului în zonele montane și premontane unde agresivitatea pluvială este ridicată; construirea de terase și baraje mici poate încetini scurgerea apei și reduce eroziunea;

BUPT

- păstrarea și restaurarea vegetației naturale; vegetația joacă un rol crucial în disiparea energiei precipitațiilor; pantarea de păduri și păstrarea vegetației de protecție în zonele vulnerabile poate diminua impactul precipitațiilor;

2. Reducerea erodabilității solului:

- ameliorarea structurii solului, prin adăugarea de materie organică și folosirea de culturi de acoperire, se poate îmbunătăți structura solului, făcându-l mai puțin susceptibil la eroziune;

- tehnologii sustenabile de arat conservativ (no-till sau minim till); utilizarea tehnicilor de arat minim sau fără arătură poate reduce erodabilitatea solului prin menținerea structurii acestuia;

3. Gestionarea topografiei:

- terasarea; în zonele cu pante abrupte, terasarea terenurilor agricole poate reduce scurgerea apei și implicit eroziunea solului;

- construirea de diguri și rigole; în zonele cu pante moderate și abrupte, digurile și rigolele pot devia apa și reduce eroziunea;

4. Practici de gestionare a acoperirii terenului:

- rotația culturilor; practicile de rotație a culturilor ajută la menținerea fertilității solului și reduc riscul de eroziune prin variația tipurilor de plante care acoperă solul;

- culturi de acoperire; plantarea culturilor de acoperire în perioadele de repaus agricol poate proteja solul de eroziune;

- păstrarea benzilor de vegetație; lăsarea benzilor de vegetație de-a lungul cursurilor de apă și pe marginile terenurilor agricole poate reduce eroziunea;

5. Practici de conservare:

- implementarea agriculturii în benzi; agricultura în benzi alternează rândurile de culturi cu benzi de vegetație, reducând eroziunea prin captarea sedimentelor;

- utilizarea mulciului; aplicarea mulciului pe solurile expuse poate proteja solul de impactul direct al picăturilor de ploaie și reduce evaporarea apei;

- reîmpădurirea; plantarea de păduri în zonele cu eroziune ridicată poate stabiliza solul și reduce scurgerea apei.

6. Monitorizarea și educația:

- monitorizarea continuă a eroziunii; utilizarea tehnologiilor GIS și a imaginilor satelitare pentru monitorizarea constantă a eroziunii solului și ajustarea măsurilor de conservare în funcție de necesități;

- programe de educație și conștientizare; informarea fermierilor și a comunităților locale despre importanța măsurilor de conservare a solului și promovarea practicilor durabile.

7. Politici și reglementări:

- reglementări stricte privind utilizarea terenurilor; implementarea și aplicarea unor reglementări privind utilizarea terenurilor în zonele vulnerabile la eroziune;

- subvenții și stimulente; oferirea de subvenții și stimulente financiare pentru fermierii care adoptă practici de conservare a solului.

Implementarea acestor măsuri poate reduce semnificativ impactul eroziunii solului în bazinul Crișului Alb, protejând solurile fertile, menținând productivitatea agricolă și asigurând durabilitatea infrastructurii și a ecosistemelor.

Adaptarea acestor strategii la specificul regional și implicarea comunităților locale sunt esențiale pentru succesul pe termen lung al acestor intervenții.

BUPT

6.7. Concluzii şi discuţii

Modelarea spațială a eroziunii solului este un instrument esențial pentru înțelegerea, monitorizarea și gestionarea acestui fenomen complex. Utilizarea modelului USLE (Universal Soil Loss Equation) permite estimarea cantitativă a pierderilor de sol prin evaluarea unor factori cheie: erozivitatea precipitațiilor (R), erodabilitatea solului (K), factorul topografic (LS), factorul de gestionare a acoperirii terenului (C) și factorul practicilor de conservare (P). Acești factori variază semnificativ în funcție de caracteristicile climatice, topografice și de utilizare a terenului, influențând susceptibilitatea solului la eroziune.

În bazinul Crișului Alb, erozivitatea precipitațiilor variază între 275.85 și 571.59 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$, cu valori maxime în zonele montane, indicând necesitatea unor măsuri de conservare sporită în aceste regiuni. Erodabilitatea solului variază între 0.04 și 0.6 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$, fiind influențată de textura și structura solului. Topografia terenului, exprimată prin factorul LS, arată valori mai mari în zonele cu pante abrupte, evidențiind un risc crescut de eroziune. Factorul de gestionare a acoperirii terenului (C) reflectă influența practicilor de utilizare a terenului și a vegetației, iar factorul practicilor de conservare (P) evidențiază impactul măsurilor de conservare aplicate.

Eroziunea solului în bazinul Crișului Alb reprezintă o problemă semnificativă, cu efecte negative asupra mediului și economiei locale. Evaluarea susceptibilității la eroziune folosind modelul USLE a relevat că majoritatea teritoriului are o rată a eroziunii foarte scăzută (0-3 t/ha/an), situație identificată în special în zonele de câmpie joasă și luncile râurilor, ceea ce indică o situație relativ stabilă din punct de vedere al conservării solului. Cu toate acestea, ratele ridicate de eroziune sunt concentrate în zonele premontane și montane, unde topografia și precipitațiile intense contribuie la pierderi semnificative de sol. Impactul asupra localităților și infrastructurii este redus, datorită localizării acestora în zone cu eroziune scăzută. Pentru a menține stabilitatea și a preveni degradarea suplimentară, este esențial să se concentreze intervențiile de control al eroziunii în regiunile identificate cu eroziune ridicată și să se promoveze practici agricole durabile și măsuri de conservare a solului.

Evaluarea impactului eroziunii solului în profil teritorial în bazinul Crișului Alb relevă un fenomen complex și variabil, influențat de factori naturali și antropici. În zonele montane și premontane, eroziunea este accentuată de pantele abrupte și precipitațiile abundente, ducând la pierderi semnificative de sol fertil, afectând negativ agricultura și silvicultura. În contrast, zonele de câmpie prezintă o eroziune mai redusă, dar aceasta poate fi amplificată de practicile agricole intensive și de lipsa vegetației naturale.

Analiza subbazinelor componente arată că majoritatea au o eroziune foarte scăzută, dar există subbazine cu rate semnificative de eroziune care necesită intervenții urgente pentru conservarea solului.

Impactul asupra claselor de utilizare a terenului indică că spațiile construite și suprafețele artificiale sunt bine protejate, în timp ce plantațiile pomicole și viticole, pajiștile și terenurile agricole eterogene prezintă variabilitate în ratele de eroziune, necesitând măsuri specifice de conservare.

Implementarea unui set diversificat de măsuri pentru reducerea și combaterea eroziunii solului în bazinul Crișului Alb este esențială pentru protejarea resurselor de sol și menținerea productivității agricole. Analiza geospațială a factorilor determinanți ai eroziunii solului a condus la identificarea unor strategii specifice, inclusiv gestionarea precipitațiilor prin construirea de terase și restaurarea vegetației, reducerea erodabilității solului prin tehnici de arat conservativ și îmbunătățirea

BUPT

structurii solului, precum și gestionarea topografiei prin terasare și construcția de diguri și rigole. Practicile de gestionare a acoperirii terenului, cum ar fi rotația culturilor și utilizarea culturilor de acoperire, împreună cu măsuri de conservare precum agricultura în benzi și reîmpădurirea, sunt cruciale pentru reducerea eroziunii.

Monitorizarea continuă a eroziunii și educarea comunităților locale despre importanța măsurilor de conservare sunt imperative pentru adaptarea și ajustarea strategiilor de management. Politicile și reglementările stricte, alături de subvențiile și stimulentele pentru fermierii care adoptă practici durabile, vor sprijini implementarea acestor măsuri.

Prin adaptarea strategiilor la specificul regional și implicarea activă a comunităților locale, se poate asigura succesul pe termen lung al acestor intervenții, contribuind astfel la durabilitatea infrastructurii și a ecosistemelor din bazinul Crișului Alb.

BUPT

7. APLICAREA METODELOR GEOSPAȚIALE ȘI A MODELĂRII HIDRAULICE ÎN STUDIUL BAZINELOR HIDROGRAFICE

Modelarea hidrologică este un aspect crucial al gestionării resurselor de apă și al planificării terenurilor, iar utilizarea datelor geospaţiale, cum ar fi Modelele Digitale ale Elevării (DEM), aduce numeroase beneficii și îmbunătățiri în acest proces.

Prin procedurile de modelare hidrologică sunt obţinute: limitele bazinelor hidrografice, reţeaua hidrografică, direcţia și acumularea fluxului de apă, etc.

Modelarea hidrologică oferă informaţii esenţiale pentru [250]:

- gestionarea resurselor de apă; prin modelare hidrologică sunt evidenţiate distribuția și disponibilitatea apei în teritoriul considerat, elemente esenţiale pentru planificarea utilizării apei în agricultură, industrie, consum, etc.;
- predicția fenomenelor de risc hidrogeomorfologic; în procesul de modelare hidrologică sunt simulate direcţia şi fluxul scurgerilor, informații critice pentru predicția acestor evenimente;
- managementul secetei; prin utilizarea modelelor hidrologice, specialiștii pot anticipa perioadele de secetă și pot planifica măsuri pentru conservarea apei și pentru reducerea impactului negativ asupra agriculturii și a aprovizionării cu apă potabilă ([24]; [214]);
- evaluarea impactului schimbărilor climatice; modelele hidrologice sunt esențiale pentru evaluarea modului în care schimbările climatice vor afecta regimul hidrologic al unui bazin;
- modelarea hidrologică oferă un cadru de suport pentru deciziile legate de managementul apelor, permițând autorităților să ia măsuri informate bazate pe simulări și scenarii diferite.

De asemenea, modelarea hidrologică reprezintă un instrument esenţial pentru cercetare în domeniul hidrologiei și al resurselor de apă. Aceasta ajută la înțelegerea complexității sistemelor hidrologice și la dezvoltarea de noi metode și tehnologii pentru gestionarea resurselor de apă.

Modelarea hidraulică, tehnică esențială pentru simularea comportamentului apei, implică utilizarea unor instrumente matematice și software-uri pentru a înțelege și a prezice fluxurile de apă, presiunile și nivelurile apei în diverse condiții.

Modelarea hidraulică este esenţială în proiectarea infrastructurii hidraulice, gestionarea resurselor de apă, întreținerea și optimizarea sistemelor existente, etc. Un aport important este adus în evaluarea riscurilor de inundaţii și pentru planificarea măsurilor de prevenire. Pe baza modelelor generate, se face simularea impactului ploilor torențiale, topirii zăpezilor sau ruperii barajelor, oferind autorităților și comunităților informațiile necesare pentru a implementa strategii de reducere a riscurilor și pentru a se pregăti pentru eventuale dezastre.

Tehnicile şi metodele de modelare hidraulică au evoluat semnificativ datorită progreselor tehnologice. Astăzi, modelele sunt construite folosind software-uri avansate care integrează date de la senzori, imagini satelitare și informații geospațiale. Tehnici precum modelarea 2D și 3D, simulările în timp real și utilizarea inteligenței artificiale permit o analiză mai precisă și predicții mai fiabile.

BUPT

7.1. Scop şi obiective

Scopul cercetărilor din această secţiune poate fi scindat în două direcţii principale. Prima direcţie de cercetare a presupus aplicarea unor modele geospaţiale de analiză hidrologică, în bazinul râului Cigher, afluent al Crişului Alb, pentru determinarea caracteristicilor esenţiale referitoare la: direcţia de curgere a apei, acumularea apei, identificarea reţelei hidrografice, delimitarea bazinelor, etc. Cea de-a doua direcţie de cercetare a presupus aplicarea tehnicilor de modelare hdraulică unidimensională, pe un tronson al râului Cigher, pentru modelarea fluxului de apă, în diferite scenarii.

Obiectivele specifice sunt:

1. Determinarea direcţiei de curgere a apei în bazinul râului Cigher, utilizând un Model Digital de Elevaţie (DEM) cu rezoluție de 25 m [115];

2. Determinarea punctelor de acumulare a apei la nivel de bazin, cu scopul de a contura rețeaua hidrografică;

3. Corectarea și validarea rezultatelor obținute prin modelele geospațiale, prin compararea acestora cu datele existente și prin ajustarea modelului pentru a minimiza erorile;

4. Identificarea și delimitarea rețelei hidrografice și a subbazinelor hidrografice din cadrul bazinului râului Cigher, pe baza analizei spațiale și a tehnicilor de interpretare a datelor geospațiale;

5. Aplicarea tehnicilor de modelare hidraulică unidimensională pe un tronson al râului Cigher, pentru a simula fluxul de apă în diverse scenarii hidrologice și pentru a evalua comportamentul hidraulic al râului.

7.2. Materiale şi metode

7.2.1. Materiale şi software-uri utilizate

Pentru realizarea cercetărilor cuprinse în această secţiune a lucrării, au fost utilizate următoarele seturi de date:

- date hidrologice, respectiv debite şi nieluri, măsurate la staţiile hidrometrice Chier şi Tăuţ [23]; au fost luate în considerare valori medii zilnice, medii lunare şi medii anuale, pentru anii 2013, 2014, 2015, 2016 şi 2017;
- Modelul Digital de Elevaţie (DEM), cu rezoluţia spaţială la 25 m [115], produs hibrid bazat pe date SRTM și ASTER GDEM, Din DEM s-a generat direcţia şi acumularea scurgerilor, dar şi harta pantelor; acest produs a fost utilizat pentru modelarea hidrologică, la nivelul bazinului Cigher;
- Modelul Digital de Elevaţie cu rezoluţia de 1 m, generat din date LiDAR, produs obţinut prin proiectul LAKI I şi LAKI II al Agenției Naționale de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCPI) [5]; acest produs a fost utilizat pentru modelarea hidraulică, pe un sector al râului Cigher;
- date din teren, respectiv ridicări topografice de detaliu, pe talvegul râului Cigher şi în albia minoră a a acestuia;
- imagini aeriene din bazinul râului Cigher, preluate cu echipament UAV DJI Phantom 4, disponibil în cadrul laboratorului de GIS şi Teledetecţie al USV Timişoara.

Datele și informațiile științifice utilizate în cadrul cercetărilor din această secțiune au fost prelucrate prin diverse metode și software-uri, după cum urmează: pentru prelucrarea datelor geospațiale (modelarea hidrologică) și reprezentarea cartografică au fost utilizate software-urile ArcGIS 10.4 for Desktop [19]; pentru

BUPT

modelarea hidraulică a fost utilizat software-ul HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), versiunea 6.5 [153],; prezentarea rezultatelor a fost realizată cu ajutorul pachetului Microsoft Office 2016, iar editarea imaginilor, cu Adobe Photoshop CC 2018.

7.2.2. Metodologia de cercetare

Metodologia de cercetare a fost divizată în două etape principale, respectiv modelarea hidrologică şi modelarea hidraulică (Figura 7.1).

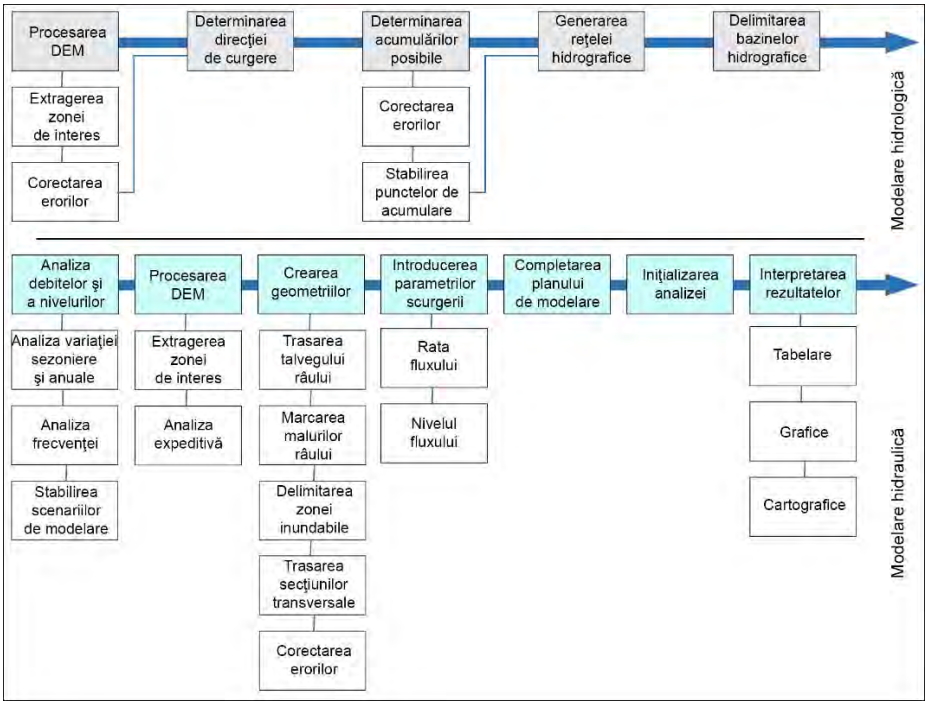


Figura 7.1. Metodologia de cercetare

Prima etapă a fluxului de lucru, modelarea hidrologică în software-ul ArcGIS, a presupus parcurgerea mai multor faze:

a. Procesarea Modelului Digital de Elevaţie, cu rezoluţia spaţială la 25 m, pentru extragerea datelor topografice necesare în analizele spaţiale; s-a realizat:

- extragerea zonei de interes, respectiv bazinul râului Cigher; pentru "izolarea" zonei, s-a utilizat limita de bazin preluată de la ABA Crişuri, în acest mod fiind creată şi o cheie de verificare a modelului de lucru care va fi aplicat pentru delimitarea bazinlor hidrografice;
- corectarea erorilor, prin comanda Fill (modulul Hydrology); DEM-ul este verificat şi corectat pentru corectarea erorilor, cum ar fi aşa-numitele "depresiuni" sau alte anomalii care pot afecta precizia modelului;

b. Determinarea direcţiei de curgere, pe baza DEM-ului, prin comanda Flow Direction; pentru a stabili direcţia predominantă de curgere a apei s-a aplicat algoritmul D8;

BUPT

c. Determinarea acumulărilor posibile, pe baza hărţii cu direcţia de curgere, prin comanda Flow Accumulation; după obţinerea hărţii posibilelor acumulări de apă, s-a procedat la:

- corectarea erorilor, prin aplicarea unor funcţii logaritmice şi condiţionale, prin Raster Calculator, prin care sunt eliminaţi pixelii care nu "conţin apă";
- stabilirea punctelor de acumulare maximă, necesare atât pentru corectarea scurgerilor şi generarea reţelei hidrografice, cât şi pentru delimitarea subbazinelor componente;

d. Generarea şi validarea rețelei hidrografice; în această fază s-a definitivat reţeaua hidrografică şi de asemenea a fost făcută ierarhizarea acesteia (ordinul râurilor); datele obţinute au fost comparate şi corectate pe baza datelor furnizate de ABA Crişuri;

e. Delimitarea bazinelor hidrografice se face pe baza hărţii direcţiei de curgere, prin aplicarea comenzii Basin; având în vedere faptul că zona a fost deja extrasă după conturul bazinului Cigher, această operaţiune s-a făcut numai în scopul validării modelului de lucru.

Cea de-a doua etapă a cercetărilor a fost modelarea hidraulică în HEC-RAS.

S-a aplicat o modelare hidraulică unidimensională de tip Steady Flow Analysis (analiza curgerii permanente), în care se presupune că debitul și condițiile de curgere ale unui râu rămân constante în timp la orice punct din sistem. Cu alte cuvinte, în analiza curgerii permanente, debitul de apă, adâncimea și viteza rămân neschimbate la fiecare secțiune transversală a râului pe perioada de timp analizată.

Ca studiu de caz, s-a selectat un sector al râului Cigher, cu lungimea de cca. 18.3 km,

Pentru obţinerea rezultatelor, au fost parcurse următoarele faze:

a. Analiza debitelor și a nivelurilor, pentru zona de studiu, a vizat:

- analiza variației sezoniere și anuale;
- analiza frecvenţei; a fost calculată non-probabilitatea şi probabilitatea de apariţie, precum şi timpul de reapariţie a valorilor maxime;
- stabilirea scenariilor pentru modelare; au fost stabilite 4 scenarii/simulări, în condiţii de niveluri şi rate de scurgere diferite; s-au aplicat ecuaţii liniare pentru estimarea ratei de scurgere şi ecuaţii polinomiale pentru estimarea nivelurilor, pe 1 an, 5 ani, 10 ani şi 15 ani;

b. Procesarea DEM-ului cu rezoluţia spaţială la 1 m, a presupus:

- extragerea zonei de interes;
- analiza expeditivă şi validarea cu datele din teren, pentru a identifica eventualele neconcordanţe sau erori;

c. Crearea geometriilor în HEC-RAS, a presupus construirea geometriei modelului hidraulic, esenţială pentru simularea curgerii apei, respectiv:

- trasarea talvegului râului;
- marcarea malurilor râului, pentru a defini limitele canalului de curgere;
- delimitarea zonei inundabile, respectiv zonele care pot fi inundate în caz de creșteri ale nivelului apei;
- trasarea secțiunilor transversale, pentru a detalia variațiile în profilul albiei; au fost stabilite 32 secţiuni (notate din amonte în aval ST 32 – ST 1), la o distanţă de aproximativ 500 m;
- corectarea erorilor în geometrie pentru a asigura precizia modelului.

Pentru fiecare secţiune a fost aplicat Coeficientul Manning, care descrie rezistența la curgere cauzată de suprafața albiei. Acest coeficient este esențial în formula lui Manning, care este utilizată pentru a calcula viteza și debitul apei, în funcție de geometria secțiunii și de caracteristicile rugozității. Conform specificaţiilor,

BUPT

pentru albia râului s-a introdus valoarea de 0.035, iar pentru zona inundabilă, valoarea de 0.06.

d. Introducerea parametrilor scurgerii, implică introducerea datelor referitoare la curgerea apei în model, calculată pe baza datelor de debit şi nivel, în etapele anterioare. Pentru fiecare simulare (notată cu S1 – S4), s-a introdus:

- rata de scurgere: S1 = 8 m^3/s; S2 = 23 m^3/s; S3 = 41 m^3/s; S4 = 60 m^3/s;
- nivelul scurgerii: S1 = 3 m; S2 = 3.2 m; S3 = 3.35 m; S4 = 3.5 m;
- completarea planului de modelare; s-a făcut pe baza geometriilor şi a parametrilor scurgerii, în regim subcritic; acesta se caracterizează printr-o viteză de curgere a apei care este mai mică decât viteza undei de gravitație; regimul subcritic apare atunci când numărul Froude (Fr) este mai mic decât 1.

În HEC RAS, Numărul Froude (Fr) este calculat automat cu relaţia:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times D}} \quad (1)$$

unde: V = viteza de curgere (m/s); g = accelerația gravitațională (9,81 m/s^2); D = adâncimea hidraulică (m), definită ca raportul între aria secțiunii transversale a curgerii și lățimea suprafeței apei;

f. Inițializarea analizei, a presupus rularea modelul conceput cu cele 4 simulări, respectiv scenarii diferite.

g. Interpretarea rezultatelor s-a realizat în diferite moduri: tabelar, grafic şi cartografic.

Pe parcursul protocolului de lucru, în cazul analizei curgerii permanente, unidimensionale, software-ul HEC-RAS utilizează o serie de relaţii de calcul şi ecuaţii [153], după cum urmează:

1. Ecuația energiei, utilizată pentru calculul profilului suprafeței apei:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2)$$

Unde: Z_1, Z_2 - înălțimile invertorului canalului principal; Y_1, Y_2 - adâncimile apei la secțiuni; V_1, V_2 - vitezele medii (debit total/aria totală de curgere), α_1, α_2 - coeficienții de ponderare a vitezei; g - accelerația gravitațională; h_e - pierderile de energie între secțiuni;

2. Pierderile de energie (h_e) între două secțiuni sunt calculate folosind relaţia:

$$h_e = L\bar{S}_f + C + \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right) \quad (3)$$

unde: L - lungimea medie ponderată a debitului; S_f - panta de frecare reprezentativă între două secțiuni; C - coeficientul de pierdere prin contracție sau expansiune.

3. Lungimea ponderată a debitului se calculează cu formula:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (4)$$

BUPT

unde lungimile secțiunilor și debitele ponderate sunt considerate pentru zonele laterale și canalul principal;

4. Formula lui Manning, pentru subdiviziunea secțiunii transversale, pentru a estima coeficientul de transport:

$$Q = KS_f^{1/2} \tag{5}$$

$$k = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \tag{6}$$

Unde: K - coeficientul de transport (conveyance); n - coeficientul de rugozitate Manning; A - aria secțiunii transversale; R este raza hidraulică (A/P); P - perimetrul umed; S_f – panta liniei de energie

5. Definirea pantei malului pentru calculul coeficientului compozit n_c:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} P_i n_j^{1.5}}{P}\right]^{2/3} \tag{7}$$

unde: n_c - coeficientul de rugozitate compozit sau echivalent; P - perimetrul udat al întregului canal principal; P_i - perimetrul udat al subdiviziunii i; n_j - coeficientul de rugozitate pentru subdiviziune;

6. Evaluarea energiei cinetice medii - pentru a calcula energia cinetică medie, este necesar să se obțină coeficientul de ponderare a vitezei, α, care se calculează astfel:

Energia cinetică medie = Energia cinetică ponderată în funcție de debit:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \tag{8}$$

$$\alpha = \frac{2g\left(Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}\right)}{(Q_1 + Q_2)\bar{V}^2} \tag{9}$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2)\bar{V}^2}$$

În general:

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \cdots Q_N V_N^2]}{Q\bar{V}^2} \tag{10}$$

Coeficientul de viteză (α), este calculat pe baza capacității de transport în cele trei elemente de curgere: malul stâng, malul drept și cursul principal. De asemenea, acesta poate fi exprimat în termeni de capacitate de transport și suprafață, conform următoarei ecuații:

BUPT

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2}\right]}{K_t^3} \quad (11)$$

unde: At - aria totală de curgere a secțiunii transversale; A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} - ariile de curgere ale malului stâng, cursului principal și malului drept; K_t - transportul total al secțiunii transversale; K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} - transporturile malului stâng, cursului principal și malului drept;

7. Evaluarea pierderilor prin frecare - panta de frecare (panta liniei energetice) la fiecare secțiune transversală este calculată folosind ecuația Manning astfel:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (12)$$

8. Evaluarea pierderilor prin frecare - pierderile prin contracție și expansiune sunt evaluate prin următoarea ecuație:

$$h_{ce} = C\left|\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}\right| \quad (13)$$

unde: C - coeficientul de contracţie sau expansiune;

7.3. Etape și metode de modelare hidrologică prin GIS. Studiu de caz: bazinul Cigher

Modelarea hidrologică în mediul GIS implică integrarea şi manipularea datelor geospaţiale pentru a înţelege, analiza şi reprezenta procesele şi fenomene topografice şi hidrologice care se manifestă la nivelul unui bazin hidrografic [374].

Modelele digitale de elevaţie, esenţiale pentru diverse aplicaţii în domenii precum topografie, geologie, geomorfologie, şi ecologie ([326]; [363]; [252]), sunt indispensabile în hidrologie, având în vedere faptul că permit stabilirea şi analiza direcţiei de curgere a apei, altitudinile, pantele, zonele de acumulare și alte caracteristici hidrologice ([248]; [20]; [209]; [374]).

Prin modelarea hidrologică în GIS, se pot identifica și analiza reţelele de drenaj şi modului în care apa se deplasează pe teritoriul bazinului, care sunt punctele de colectare și cum se formează bazinele hidrografice ([175]; [150]; [147]).

Un alt aspect deosebit de important este faptul că utilizarea aplicaţiilor GIS permite integrarea rezultatelor obţinute în urma modelării hidrologice cu alte tipuri de modele, cum ar fi modelele hidraulice, hărţile de risc de diferite tipuri, modele socio-economice, etc., esenţiale pentru planificarea urbană, gestionarea resurselor de apă şi protecţia împotriva dezastrelor naturale.

În contextul conturat anterior, în această secţiune a lucrării vom prezenta un flux de lucru aplicat pentru modelarea hidrologică complexă. Fiecare etapă metodologică are rezultate care pot fi utilizate, separat, în diferite scopuri.

Ca studiu de caz, a fost selectat bazinul râului Cigher afluent al Crişului Alb, cu suprafaţa de 84.540 ha.

BUPT

7.3.1. Obţinerea informaţiilor topografice din Modelul Digital de Elevaţie

Topografia este esenţială în modelarea hidrologică deoarece determină distribuţia factorilor de mediu şi de asemenea stabileşte direcţia de curgere a apei, zonele de acumulare sau caracterul fluxului ([279]; [357]). Ea influenţează riscurile de inundaţie, procesele de eroziune şi sedimentare şi planificarea utilizării terenului.

În studiul de caz abordat în această secţiune a lucrării, respectiv bazinul râului Cigher, am utilizat un DEM cu rezoluţia spaţială de 25 m [115], produs hibrid bazat pe date SRTM şi ASTER GDEM (Figura 7.2).

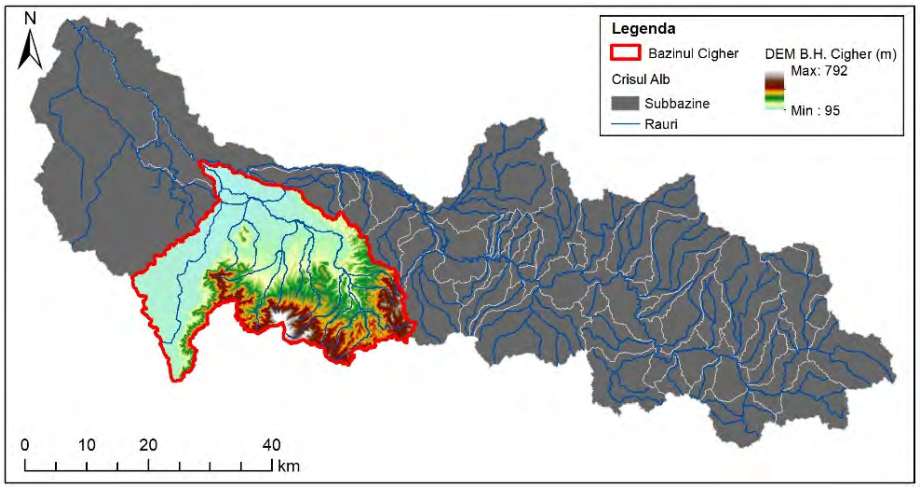


Figura 7.2. Selectarea zonei de studiu şi DEM-ul bazinului Cigher

În bazinul analizat, altitudinea variază între 95 - 792 m. Zonele de altitudine joasă sunt predominante în jumătatea nordică, iar jumătatea sudică este dominată de dealuri. Această variaţie a altitudinii sugerează că bazinul are un relief variat, cu pante abrupte în sud, ceea ce se reflectă în distribuţia şi "comportamentul" râurilor.

Prin fotointerpretarea DEM-ului pot fi extrase o serie de informaţii deosebit de utile în context hidrologic. Se evidenţiază direcţia, dar şi intensitatea scurgerii de suprafaţă şi astfel se poate formula următoarea ipoteză: în zonele înalte, apa se scurge cu viteză mai mare şi se poate acumula în zonele joase, unde panta şi implicit viteza de curgere scad. Aceste zone devin susceptibile la inundaţii, mai ales în perioade de precipitaţii intense sau de topire rapidă a zăpezilor.

Zonele înalte sunt susceptibile la apariţia şi manifestarea proceselor de versant (eroziune, alunecări de teren, etc). Acestea afectează stabilitatea versanţilor, structura solului, regimul sedimentelor şi mai departe, pot interveni în regimul hidrologic şi "comportamentul" râurilor.

Pentru modelarea hidrologică şi obţinerea informaţiilor topografice din DEM, prima etapă este corectarea şi îmbunătăţirea acurateţii acestuia. Această etapă presupune eliminarea aşa numitelor "depresiuni" din DEM, adică a celulor care au valori de elevaţie mai mici decât celulele din jurul lor şi pot crea puncte de acumulare falsă a apei. Acestea pot apărea din cauza erorilor de interpolare utilizate iniţial la generarea DEM-ului.

BUPT

Pentru corectarea DEM-ului s-a aplicat comanda Fill (modulul Hydrology) din ArcGIS. Rezultatul este prezentat în figura 7.3.

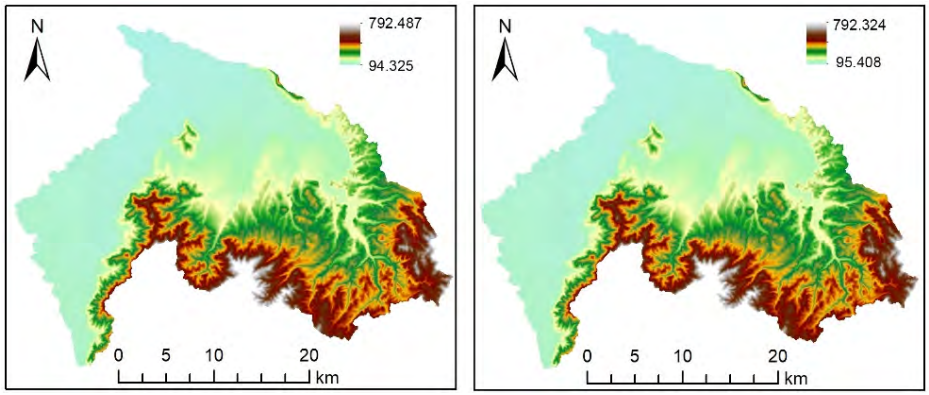


Figura 7.3. Modelul Digital de Elevaţie al bazinului Cigher: iniţial – stânga; corectat - dreapta

Altitudinea minimă a DEM-ului iniţial este de 94.325 m, iar cea maximă de 792.487 m. După aplicarea procedurii de corectare, altitudinea minimă este de 95.408 m, iar cea maximă de 792.324 m. Această ușoară creștere a altitudinii minime sugerează că anumite “depresiuni” sau puncte din DEM-ul inițial au fost umplute sau corectate (Figura 7.3). Dacă aceste erori nu sunt corectate, ele se reflectă în analiza hidrologică ca şi puncte false de acumulare a apei.

7.3.2. Determinarea direcției de curgere a apei

Determinarea direcţiei de curgere a apei pe baza DEM este esențială în modelarea hidrologică. Prin astfel de analize spaţiale este studiată mișcarea apei, rețelele sau bazinele hidrografice, etc [158]. De asemenea, stabilirea direcţiei de curgere este deosebit de importantă pentru simulările predictive legate de schimbările climatice și dezvoltarea urbană, precum și pentru optimizarea gestionării resurselor de apă.

Pentru determinarea direcţiei de curgere s-a folosit algoritmul D8 (Direction 8), care atribuie fiecărei celule una dintre cele opt direcții posibile către una dintre celulele adiacente (Figura 7.4).

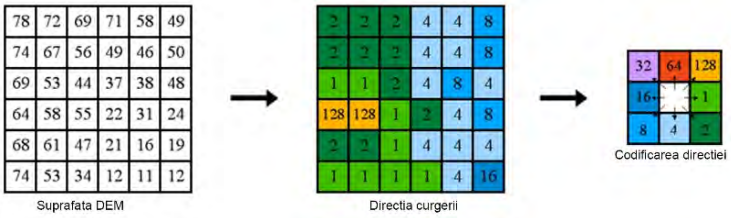


Figura 7.4. Algoritmul D8 în stabilirea direcţiei de curgere [19]

În studiul de caz din această secţiune, pentru determinarea direcţiei de curgere a apei a fost aplicată comanda Flow Direction (modulul Hydrology) din ArcGIS.

BUPT

Acest instrument se aplică pe DEM pentru a determina direcţia principală în care apa se scurge.

Determinarea direcţiei de curgere a apei este un pas crucial în analizele hidrologice, deoarece stabileşte baza pentru toate celelalte analize ulterioare (acumularea scurgerii, delimitarea suprafeţei bazinale, identificarea reţelei hidrografice şi analiza fenomenelor de risc). Pe de altă parte, înţelegerea direcţiei de curgere este esenţială pentru gestionarea riscurilor de inundaţii, controlul eroziunii şi planificarea infrastructurii, deoarece indică traseele pe care apa le urmează, în mod natural, în funcţie de topografia terenului.

Din DEM, a fost calculată direcţia de curgere, pentru bazinul Cigher (Figura 7.5), pe baza diferenţei de elevaţie dintre celulele adiacente. Fiecare celulă a fost analizată pentru a stabili către care dintre cele opt celule adiacente va curge apa (sus, jos, stânga, dreapta, diagonale).

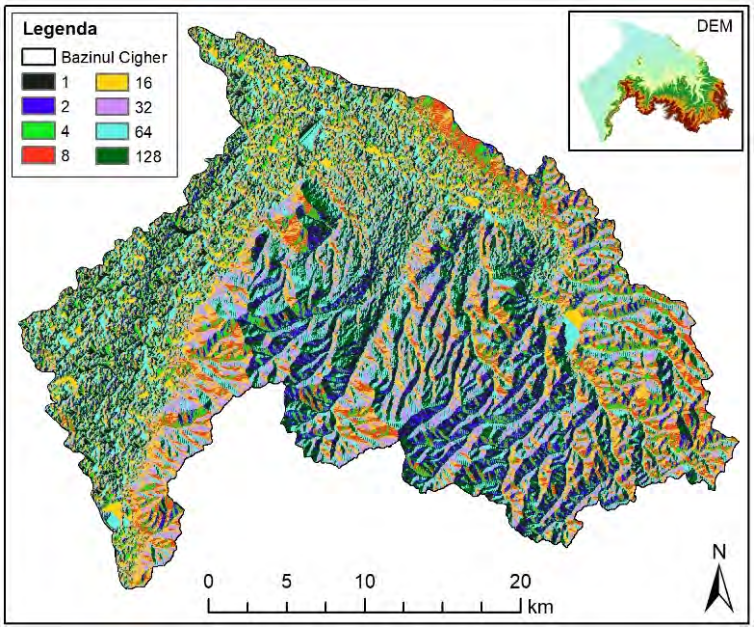


Figura 7.5. Modelarea direcţiei de scurgere în bazinul Cigher

Legenda figurii 7.5 se explică astfel:

- 1: curgere spre est (celula la dreapta);
- 2: curgere spre sud-est (celula în diagonală dreapta jos);
- 4: curgere spre sud (celula jos);
- 8: curgere spre sud-vest (celula în diagonală stânga jos);
- 16: curgere spre vest (celula la stânga);
- 32: curgere spre nord-vest (celula în diagonală stânga sus);
- 64: curgere spre nord (celula sus);
- 128: curgere spre nord-est (celula în diagonală dreapta sus).

Relieful variat al bazinului Cigher este evidenţiat prin direcţiile multiple de curgere a apei, care indică un teren accidentat cu multe pante şi versanţi, în special

BUPT

în jumătatea nordică, ceea ce duce la direcții de curgere diferite chiar și pe distanțe mici. Direcția de curgere reflectă fidel variațiile topografice evidențiate de DEM.

Regiunile înalte ale bazinului analizat, cu pante abrupte, localizate în sudul zonei au un model de curgere mai complex, cu direcții diverse în funcție de orientarea și altitudinea locală a terenului (Figura 7.5). Aceste zone pot indica potențiale puncte de convergență a apelor sau zone unde se pot forma cursuri de apă temporare sau permanente.

Regiunile în care direcțiile de curgere converg pot fi puncte critice pentru acumulări de apă, care necesită monitorizare sau intervenție pentru a preveni inundațiile.

Harta direcţiei de curgere, reprezentare tipică în analizele hidrologice, poate fi utilizată separat, din acest punct al analizei, deoarece permite urmărirea traseului de curgere a apei de la orice punct de pe suprafața terenului până la punctele de ieșire sau până la punctele de interes (cum ar fi nodurile hidrografice). Pe de altă parte, această hartă este ulilizată în următoarea etapă a analizei, pe baza acesteia fiind calculată acumularea scurgerii.

7.3.3. Determinarea acumulărilor şi a bazinului hidrografic

Determinarea acumulărilor posibile de apă în mediul GIS, etapă obligatorie în modelarea hidrologică, se constituie ca fundament în conturarea reţelei hidrografice. În alte scopuri, harta acumulărilor de apă ajută la identificarea zonelor cu risc de inundații, la gestionarea eficientă a resurselor de apă, la controlul eroziunii și sedimentelor, dar și la planificarea infrastructurii.

În cazul bazinului Cigher, pentru determinarea acumulărilor de apă posibile, s-a aplicat comanda Flow Accumulation (modulul Hydrology) din ArcGIS, pe baza hărţii direcţiei de curgere obţinută în etapa anterioară (Figura 7.6).

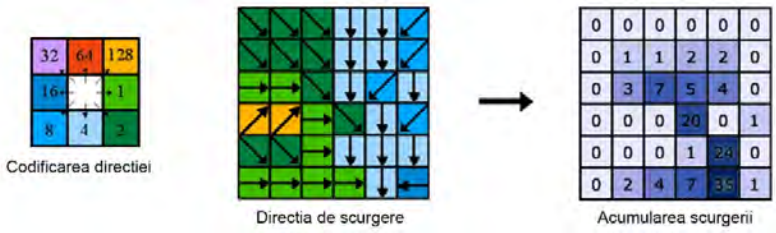


Figura 7.6. Algoritmul D8 în stabilirea acumulării scurgerii [19]

Instrumentul Flow Accumulation calculează, pentru fiecare celulă, numărul total de celule care contribuie la fluxul său. Cu alte cuvinte, calculează câte celule de deasupra (upstream) contribuie cu flux de apă în celula respectivă. În figura 7.6, în imaginea din stânga este ilustrată direcția de deplasare din fiecare celulă și în dreapta, numărul de celule care curg în fiecare celulă.

La nivelul zonei de studiu, harta acumulării scurgerilor are valori cuprinse între 0 – 752840 (Figura 7.7).

Valorile mici indică zone cu acumulare redusă de apă, în cele mai multe cazuri, situate pe versanți sau în apropierea izvoarelor, acolo unde apa începe să se adune, dar nu are un flux semnificativ.

Valorile intermediare se regăsesc în zonele împădurite sau pe cursurile de apă mai mici care drenează zonele de versant și se îndreaptă spre rețelele principale de râuri.

BUPT

Valorile mari indică zone unde se acumulează o cantitate semnificativă de apă, de obicei reprezentând râuri principale. Acestea sunt organismele care colectează apa din întreaga reţea a bazinului.

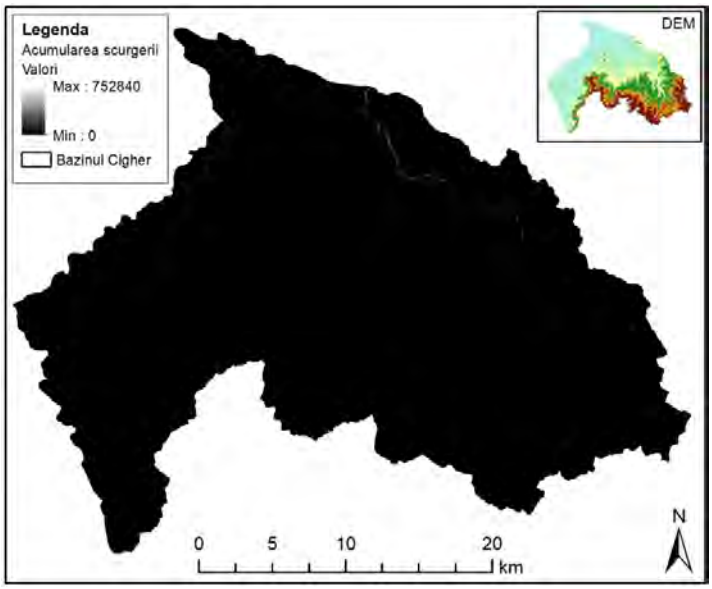


Figura 7.7. Modelarea acumulării scurgerii în bazinul Cigher

Harta acumulării scurgerii, poate fi utilizată la modelarea deoarece permite identificarea zonelor de risc ridicat, având în vedere faptul că zonele cu valori mari de acumulare sunt susceptibile de a avea fluxuri de apă mari în timpul evenimentelor de precipitaţii intense. De asemenea, această hartă se poate utiliza la evaluarea proceselor erozionale, pe considerentul că zonele cu valori mari de acumulare a scurgerii sunt adesea supuse unor rate mai mari de eroziune, astfel încât această analiză poate ajuta la identificarea zonelor vulnerabile.

Harta acumulării scurgerilor va fi utilizată, în continuare, la trasarea reţelei hidrografice.

Pentru a reduce intervalul mare de valori în care variază harta acumulărilor şi pentru eliminarea erorilor (nu toate celulele participă la acumulare), s-a aplicat funcţia logaritmică şi funcţia condiţională, în ArcGIS, prin Raster Calculator. Harta a fost ulterior reclasificată, pentru conturarea reţelei hidrografice.

În următoarea etapă a fost generată reţeaua hidrografică, conform hărţii din figura 7.8.

Având în vedere faptul că analiza spaţială s-a realizat pe un DEM cu rezoluţia spaţială la 25 m, au fost sesizate unele erori în reprezentarea reţelei hidrografice, în special în zonele joase, care nu sunt reprezentate prin suficiente detalii topografice. Aceste erori au fost corectate prin compararea rezultatului cu datele vectoriale prin care sunt reprezentate râurile, preluate de la ABA Crişuri.

În bazinul Cigher, reţeaua hidrografică este bine definită, fiind distribuită pe toată suprafaţa bazinului. Aceasta are densitate mare, ceea ce sugerează că bazinul are o topografie variată, cu multe văi şi depresiuni care colectează şi direcţionează

BUPT

apa (Figura 7.8). Zonele mai joase și văile concentrează fluxul de apă, ceea ce explică densitatea mai mare a rețelei în anumite regiuni.

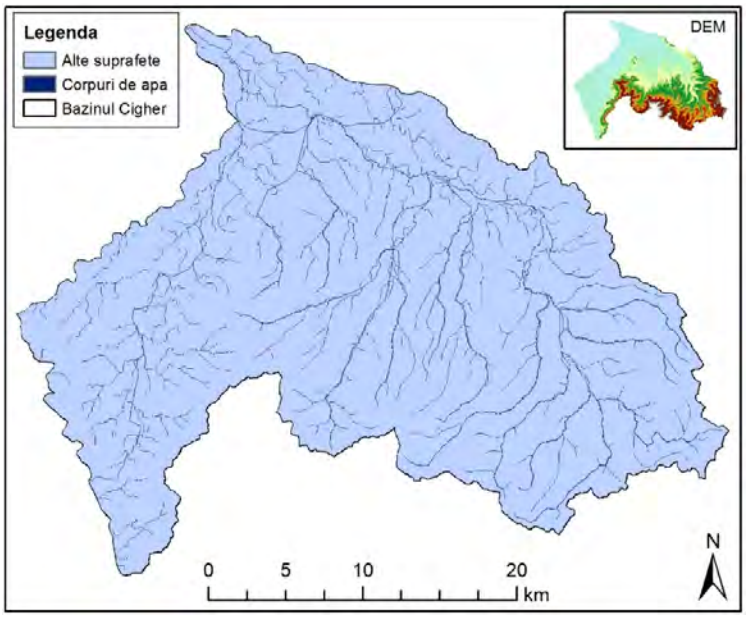


Figura 7.8. Modelarea reţelei hidrografice în bazinul Cigher

Următoarea etapă în modelul de lucru aplicat, a fost ierarhizarea râurilor din bazinul Cigher, prin comanda Stream Order (modulul Hydrology) din ArcGIS. A fost utilizată harta acumulărilor şi harta direcţiei de curgere.

În cazul acestui studiu s-a utilizat metoda Strahler: În această metodă, un râu de ordinul 1 este un râu fără tributari. Când două râuri de ordinul 1 se întâlnesc, ele formează un râu de ordinul 2. Când două râuri de ordinul 2 se întâlnesc, ele formează un râu de ordinul 3 și așa mai departe. Dacă un râu de un anumit ordin se întâlnește cu un râu de ordin inferior, ordinul superior rămâne neschimbat.

Pe harta raster obţinută la pasul anterior a fost aplicată conanda Stream to Feature (modulul Hydrology) din ArcGIS. Aceasta a fost utilizată pentru a converti rețelele de râuri extrase din date raster în date vectoriale. Algoritmul conectează celulele raster adiacente care fac parte din aceeași rețea de râuri într-o linie continuă, eliminând fragmentările și discontinuităţile care pot apărea în datele raster.

Harta rezultată la pasul anterior a fost “dizolvată”, în funcţie de ordinul reţelei hidrografice, prin comanda Disolve (modulul Generalization – Data Management Tools) din ArcGIS.

Ordinul (rangul) râurilor oferă informații importante despre structura și funcționarea rețelei hidrografice. Ajută la identificarea principalelor cursuri de apă și a relațiilor dintre acestea.

După conturarea reţelei hidrografice, în fluxul metodologic urmează delimitarea bazinelor hidrografice. Acest pas se poate face cu conanda Basin (modulul Hydrology) din ArcGIS. Pe baza hărţii direcţiei de curgere, comanda Basin delimitează zonele în care toate celulele contribuie la scurgerea apei către același punct de confluență, formând astfel bazine hidrografice.

BUPT

Având în vedere faptul că zona de interes a fost deja extrasă după limita bazinului Cigher, stabilită de ABA Crişuri, această etapă a modelării nu s-a mai aplicat.

Pentru delimitarea la nivel de subbazin se utilizează harta direcţiei de curgere (Figura 7.9), în format vectorial (conversia raster to point).

Pentru delimitarea subbazinelor, se utilizează harta direcţiei de curgere, iar pe harta reţelei hidrografice se identifică punctele de acumulare maximă. În ArcGIS se utilizează comanda Snap Pour Point şi comanda Watershed (Figura 7.9).

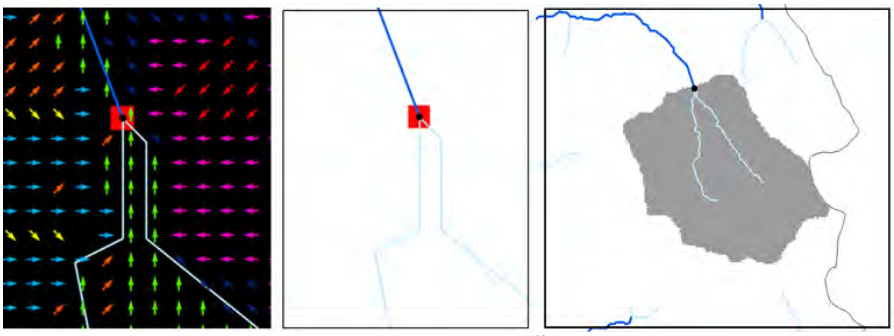


Figura 7.9. Fixarea punctelor de acumulare maximă pentru delimitarea subbazinelor

În ansamblu, în urma procedurilor aplicate în cadrul modelării hidrologice, rezultă un volum mare de date, tabelare, grafice şi cartografice, în principal de natură topografică şi hidrologică. Acestea pot fi utilizate în diverse analize sau domenii, de la gestionarea resurselor de apă și protecția împotriva inundațiilor, până la planificarea infrastructurii și conservarea mediului.

7.4. Etape și metode de modelare hidraulică pentru analiza curgerii permanente. Studiu de caz: râul Cigher

Modelarea hidraulică este procesul prin care se simulează comportamentul fluidelor, în special al apei, într-un sistem de curgere. Aceasta implică utilizarea de modele matematice și computaționale pentru a analiza și prezice fluxul de apă prin diverse structuri și terenuri, precum râuri, canale, baraje, conducte și sisteme de drenaj.

Modelarea hidraulică poate fi aplicată pentru a evalua curgerea apei, nivelurile şi viteza curgerii, eroziunea, sedimentarea, precum și raporturile dintre infrastructuri şi cursurile de apă. Aşadar, modelarea hidraulică este o componentă cheie a oricărui sistem de evaluare şi prognoză a comportamentului apei în râuri ([336]; [38]).

Tehnicile de modelare hidraulică şi modelele obţinute se aplică în domenii precum gestionarea resurselor de apă, protecția împotriva inundaţiilor, planificarea şi dezvoltarea infrastructurii, ingineria fluvială, protecția mediului, și industria. Aceasta ajută la optimizarea utilizării apei, prevenirea dezastrelor naturale, și luarea deciziilor informate pentru dezvoltare durabilă.

În ultimii ani, pe fondul intensificării unor fenomene hidrologice de risc, în contextul schimbărilor climatice şi socio-economice, au fost perfecţionate şi dezvoltate metode şi modele hidrologice și hidraulice cu acurateţe şi precizie tot mai mare, care să răspundă provocărilor acestor fenomene şi să fie capabile să furnizeze scenarii viabile ([187]; [167]).

BUPT

Prognoza magnitudinii fenomenelor de risc hidrologic şi hidrogeologic este esențială pentru rezolvarea problemelor economice, de mediu și sociale și rămâne o provocare fundamentală pentru hidrologi şi specialişti din domeniile conexe [54].

În prezent, există un număr de software-uri şi implicit modele computerizate pentru a simula caracteristicile scurgerii (adâncime, viteză etc.), cum ar fi TELEMAC-2D, River-2D, HEC-HMS, HEC-RAS, MIKE11, MIKE, etc. ([62]; [253]).

Cercetările din această secţiune a lucrării prezintă un model de analiză hidraulică unidimensională a curgerii permanente (Steady Flow Analysis), aplicată în software-ul HEC-RAS, pe o secţiune a râului Cigher, cu lungimea de cca. 18.3 km. În acest tip de analiză hidraulică se presupune că debitul și condițiile de curgere ale apei rămân constante în timp, în orice punct din sistem.

7.4.1. Analiza debitelor şi nivelurilor în zona de studiu

Debitele și nivelurile apei sunt unii dintre cei mai importanţi factori luaţi în considerare în determinarea riscurilor hidrologice ([118]; [224]; [359]).

Debitele mari, cauzate de precipitații intense sau topirea bruscă a zăpezii, pot duce la inundații severe, mai ales când capacitatea de drenaj este depășită afectând grav infrastructura și întreg spaţiul aferent.

Pe de altă parte, debitele reduse și nivelurile scăzute ale apei, înregistrate în perioade cu cantităţi mici de precipitaţii, pot provoca scăderea rezervei de apă, afectând diferite sectoare precum agricultura, alimentarea cu apă, etc.

În figura 7.10 sunt prezentate valorile debitelor (m^3/s) înregistrate la staţia hidrometrică Chier, în perioada 2013 – 2017.

În anul 2013, debitului atinge un vârf semnificativ în luna aprilie, ajungând la aproximativ 7 m^3/s, cea mai mare valoare lunară pentru acel an. Celelalte luni au debite considerabil mai mici, în mare parte sub 2 m^3/s.

În anul 2014, debitele sunt relativ scăzute pe parcursul întregului an, cu cea mai mare valoare în luna decembrie, de aproximativ 1.5 m^3/s. Valorile sunt distribuite mai uniform comparativ cu 2013, fără vârfuri remarcabile.

La nivelul anului 2015, cel mai mare debit apare în luna martie, la aproximativ 2.5 m^3/s și există un vârf secundar în luna noiembrie, la aproximativ 1.5 m^3/s. Debitele pentru restul anului sunt, în general, sub 1 m^3/s.

În 2016, un vârf vizibil în debit apare în luna martie, similar cu 2015, ajungând la aproximativ 5 m^3/s. Celelalte luni rămân relativ scăzute, sub 2 m^3/s, cu o ușoară creștere în luna decembrie.

În anul 2017, debitele ating un vârf în luna aprilie, la aproximativ 3.5 m^3/s, și mai au un alt vârf în luna decembrie, la aproximativ 3 m^3/s. Debitele din lunile de mijloc (mai - octombrie) sunt semnificativ mai mici, sub 1 m^3/s.

În intervalul analizat, valoarea maximă a debitului s-a produs în data de 31 martie 2013, cu valoarea de 24 m^3/s, urmată de o a doua valoare, de 22.3 m^3/s, în data de 27 februarie 2016.

Aceste valori mari din lunile de sfârşit a iernii şi din primăvară (februarie, martie, aprilie), indică manifestarea factorilor sezonieri, cum ar fi topirea zăpezii sau ploi abundente care contribuie la debite mai mari.

În majoritatea anilor, există perioade (adesea vara și începutul toamnei) în care debitele scad semnificativ, din cauza precipitaţiilor reduse.

BUPT

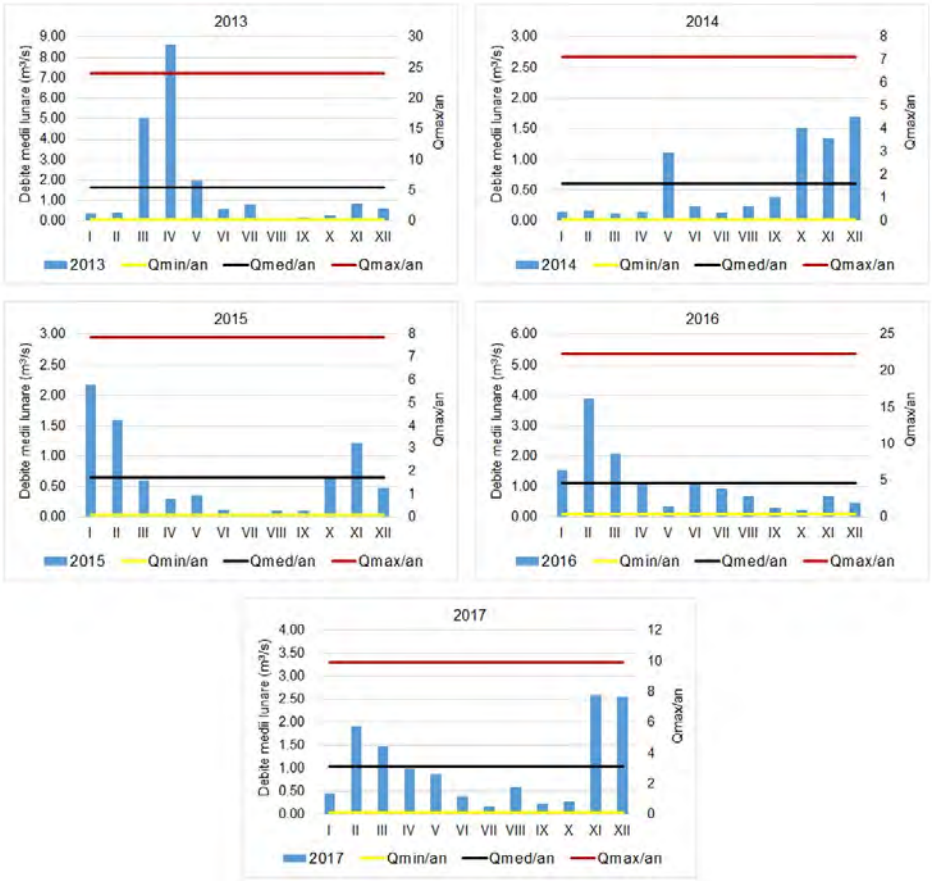


Figura 7.10. Debite medii lunare la staţia hidrometrică Chier [23]

În figura 7.11 sunt prezentate nivelurile apei (m) înregistrate la staţia hidrometrică Chier, în perioada 2013 – 2017.

În anul 2013, nivelul atinge un vârf semnificativ în luna aprilie, la aproximativ 3 metri, ceea ce reprezintă cel mai mare nivel lunar pentru acel an (în corelaţie cu valoarea maximă a debitului, pentru perioada analizată). În celelalte luni, nivelurile sunt relativ uniforme, majoritatea între 1 și 2 metri.

În anul 2014, nivelurile sunt mai uniforme pe parcursul anului, fără variaţii semnificative. Cele mai mari niveluri se observă în lunile noiembrie și decembrie, când nivelul se apropie de 2 metri, pe fondul unor cantităţi mai mari de precipitaţii.

În anul 2015, nivelul cel mai ridicat apare în luna martie, la puțin peste 2 m. Nivelurile rămân relativ constante în restul anului, între 1 și 1,5 metri.

În 2016, se observă un vârf în luna martie, similar cu anul 2015, la aproximativ 2,5 metri. Nivelurile medii lunare pentru restul anului sunt, în general, între 1 și 1,5 metri.

La nivelul anului 2017, nivelurile ating un vârf în lunile martie și decembrie, la aproximativ 2 metri.

BUPT



Figura 7.11. Niveluri medii lunare la staţia hidrometrică Chier [23]

Nivelurile din lunile de vară (mai până în septembrie) sunt mai scăzute, rămânând în jurul valorii de 1,5 metri sau sub această valoare.

Nivelurile maxime din perioada analizată au fost înregistrate în 31 martie 2013 (3.5 m) şi 27 februarie 2016 (3.37 m). Acestea reprezintă vârfuri notabile în lunile de la sfârşitul iernii şi în lunile de primăvară, indicând evenimente sezoniere (topirea zăpezii şi precipitaţiile abundente).

Datele înregistrate în anii 2014 şi 2015 arată o distribuţie mai uniformă a nivelurilor, fără fluctuaţii majore de-a lungul anului.

Pe baza debitelor şi nivelurilor înregistrate, s-a făcut analiza de frecvenţă. Aceasta se referă la evaluarea statistică a datelor istorice privind debitele şi nivelurile apei pentru a înţelege cât de frecvent apar evenimentele extreme, precum inundaţiile sau secetele. A fost calculată probabilitatea de producere şi perioada de revenire (intervalul de recurgenţă), concept important în analiza frecvenţei care indică frecvenţa cu care se aşteaptă ca un anumit eveniment, cum ar fi un debit extrem, să fie depăşit (Tabelul 7.1).

BUPT

Tabelul 7.1

Debite şi niveluri prognozate

Rang		Probabilitatea de apariţie (%)	Perioada de revenire (ani)	
	Debite (m^3/s)			Ecuaţia liniară
1	24	0.17	6	
2	22.3	0.33	3	$Y = 3.9676x + 4.1007$
3	9.9	0.50	2	$R^2 = 0.7652$
4	7.84	0.67	1.5	
5	7.12	0.83	1.2	
	Niveluri (m)			Ecuaţia logaritmică
1	3.5	0.17	6	
2	3.37	0.33	3	$Y = 0.3733\ln(x) + 2.8766$
3	3.15	0.50	2	$R^2 = 0.9512$
4	2.98	0.67	1.5	
5	2.94	0.83	1.2	

Pe baza valorilor maxime măsurate, au fost prognozate ratele de scurgere şi nivelurile pentru diferite perioade de timp (tabelul 7.1), date pe baza cărora s-au generat simulări prin modelarea hidraulică unidimensională, pentru 1 an, 5 ani, 10 ani şi 15 ani.

Estimarea debitelor (a ratei de curgere) s-a făcut pe baza unei ecuaţii de regresie liniară, iar estimarea nivelurilor, s-a făcut pe baza unei ecuaţii logaritmice, prezentate în tabelul 7.1.

7.4.2. Procesarea şi validarea Modelului Digital de Elevaţie

Pentru analiza hidraulică, conform metodologiei de cercetare, a fost utilizat un DEM cu rezoluţia spaţială de 1 m, generat din date LiDAR, prin programul LAKI I şi LAKI II, al ANCPI [5]. Pentru modelare, a fost selectat un sector de pe râul Cigher, localizat între confluenţa cu râul Timercea, în amonte şi Valea Mare, în aval.

Pentru validarea modelului digital, au fost colectate puncte de control în patru zone-test, cu echipament GPS (Figura 7.12, Figura 7.13).

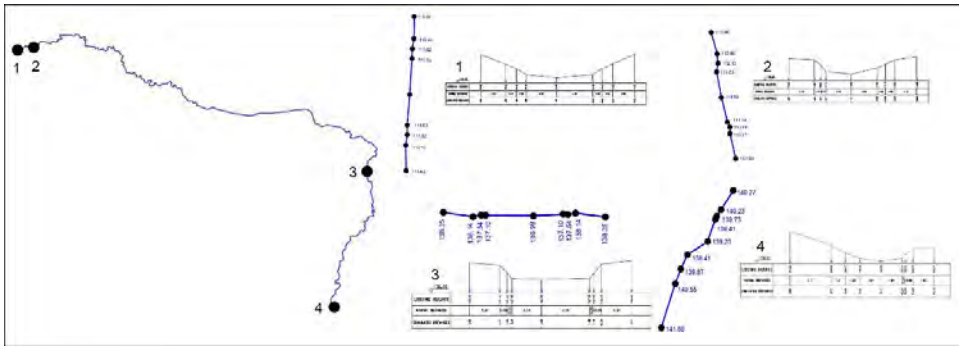


Figura 7.12. Secţiuni transversale prin puncte GPS în teren

BUPT



Figura 7.13. Colectarea punctelor din teren - râului Cigher

Datele colectate în teren au fost raportate în software-ul Autocad, în sistemul de proiecţie Stereografică 1970 şi au fost create cele patru secţiuni transversale, utilizate pentru validarea datelor.

Datele din ridicări topografice au fost comparate cu datele altimetrice din DEM-il utilizat. S-a constatat că precizia datelor din DEM este conformă şi astfel poate fi utilizat pentru modelarea hidraulică.

Modelul Digital de Elevaţie a fost importat în software-ul HEC-RAS şi convertit în formatul specific (Figura 7.14).

BUPT

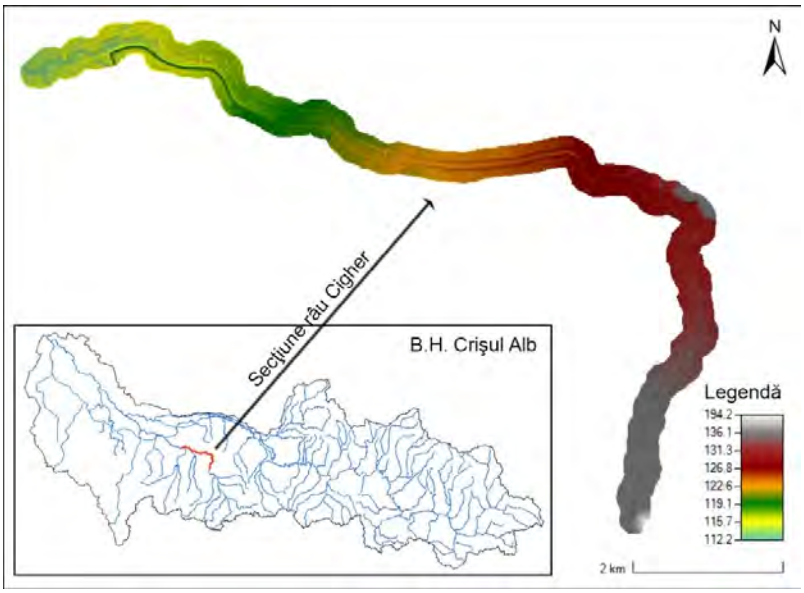


Figura 7.14. Modelul Digital de Elevaţie al sectorului râului Cigher

7.4.3. Trasarea elementelor geometrice ale sectorului analizat

Trasarea geometriilor (talveg, maluri, zona inundabilă şi secţiunile transversale), în HEC-RAS, este esențială pentru a defini corect geometria râului și pentru a asigura precizia simulărilor hidraulice.

În cazul cursului secţiunii considerate studiu de caz, după procesarea şi validaea DEM-ului, au fost trasate elementele geometrice necesare modelării în HEC-RAS, respectiv linia centrală a râului (talvegul), malul stâng, malul drept şi de asemenea, s-a delimitat zona inundabilă. În acest caz, fiind analizat un curs de apă îndiguit, s-a considerat zonă inundabilă ca fiind suprafaţa cuprinsă între cele două diguri (Figura 7.15, Figura 7.16).

Trasarea liniei centrale a râului, cunoscută și sub denumirea de talveg, joacă un rol esențial în modelarea hidraulică a cursurilor de apă. Aceasta reprezintă linia de-a lungul celei mai adânci părți a albiei râului și este folosită pentru a defini configurația geometrică a albiei în cadrul modelului hidraulic.

Talvegul stabilește traseul principal al râului sau al cursului de apă în cadrul modelului HEC-RAS. Aceasta este esențială pentru a poziționa corect secțiunile transversale și pentru a descrie în mod precis geometria râului.

Talvegul ajută la stabilirea direcției generale de curgere a apei în cadrul modelului. Aceasta este importantă pentru a simula corect fluxurile de apă și pentru a prevedea cum se va comporta râul în diferite scenarii hidraulice.

HEC-RAS, program în care s-a făcut modelarea hidraulică în studiul de caz abordat, utilizează talvegul râului Cigher pentru a înțelege variațiile de adâncime și lățime ale râului pe măsură ce curge de la amonte la aval. Acest lucru ajută la modelarea unor fenomene cum ar fi eroziunea, depunerea sedimentelor și comportamentul general al albiei râului.

Malurile (stâng şi drept) definesc marginile râului și separă fluxul de apă din albia minoră de zonele adiacente, cum ar fi luncile inundabile.

BUPT

Trasarea malurilor ajută la delimitarea zonei prin care curge cea mai mare parte a apei în condiții normale. Aceasta este importantă pentru a calcula corect viteza și adâncimea apei.

Malurile separă debitul din râu de cel din zonele inundabile. Acest lucru este crucial pentru a calcula cum se distribuie debitul între canalul principal și luncile inundabile în timpul evenimentelor de inundație. Malurile sunt importante pentru a modela eroziunea și sedimentarea, deoarece acestea influențează fluxul de apă și transportul sedimentelor în cadrul râului.



Figura 7.15. Zona inundabilă (porţiunea dintre cele două diguri) pe râul Cigher (imagine din dronă - original)

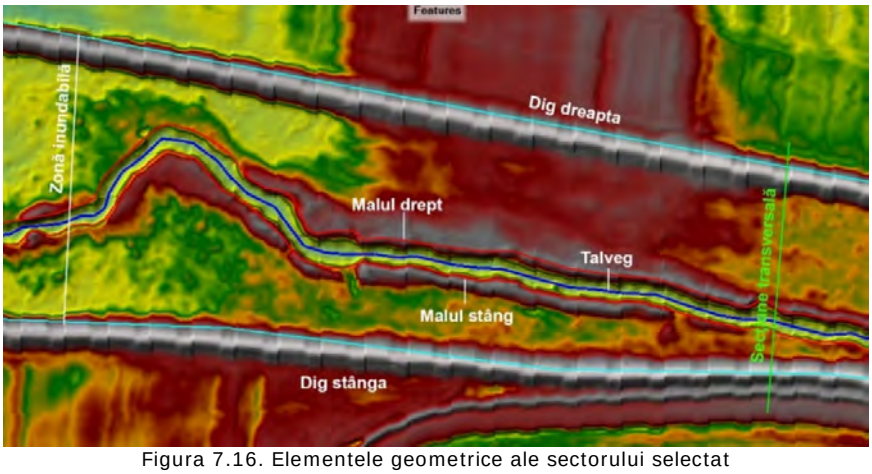


Figura 7.16. Elementele geometrice ale sectorului selectat

Trasarea zonei inundabile permite identificarea regiunilor vulnerabile la inundații pentru diverse scenarii de debit. Aceasta ajută la înțelegerea extinderii și adâncimii potențiale a apei în cazul unui eveniment de inundație. Cu ajutorul trasării zonei inundabile, urbaniştii și cei care se ocupă de amenajarea teritoriului pot lua

BUPT

decizii informate cu privire la amplasarea clădirilor, drumurilor și altor infrastructuri, evitând astfel construirea în zonele cu risc mare de inundație.

Identificarea zonelor inundabile ajută la pregătirea planurilor de intervenție în caz de inundații. Autoritățile pot stabili trasee de evacuare, locuri de refugiu și resurse necesare pentru protejarea populației și a bunurilor.

Zonele inundabile trasate în HEC-RAS sunt adesea utilizate de companiile de asigurări pentru a stabili primele de asigurare și de proprietari pentru a înțelege valoarea reală a proprietăților lor, ținând cont de riscurile de inundație.

Trasarea zonei inundabile oferă informații vitale pentru proiectarea barajelor, digurilor, canalelor și altor structuri de protecție împotriva inundațiilor.

Pe sectorul de râu considerat studiu de caz, au fost trasate 32 secţiuni transversale (ST), perpendiculare pe cursul râului, numerotate din amonte în aval, de la 32 la 1. Caracteristicile secţiunilor transversale sunt prezentate în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2

Caracteristici ale secţiunilor transversale

ST[1]	Left Bank (m)[2]	Right Bank (m)[3]	Lengh LOB (m)[4]	Lengh Channel (m)[5]	Lengh ROB (m)[6]	Cutline to XS Ratio[7]
32	36.70	67.20	466.80	486.20	394.50	1.000
31	34.80	48.90	331.20	565.60	411.70	1.000
30	77.60	95.10	459.40	502.90	409.60	1.000
29	112.00	125.30	745.90	876.00	673.10	1.000
28	89.60	102.50	719.90	1061.00	862.50	1.000
27	32.60	43.50	555.80	681.30	585.70	1.000
26	92.30	102.30	546.10	622.60	400.20	1.000
25	80.60	92.60	729.70	965.10	999.00	1.000
24	83.60	94.60	846.50	1082.00	815.70	1.000
23	59.40	80.40	490.80	544.60	465.80	1.000
22	64.10	75.70	489.60	513.90	496.00	1.000
21	47.00	68.90	478.00	504.10	526.60	1.000
20	42.50	56.00	505.70	509.50	496.90	1.000
19	67.80	76.90	503.20	505.10	477.00	1.000
18	51.60	63.30	499.50	503.50	499.80	1.000
17	35.70	47.50	521.60	565.10	509.30	1.000
16	59.80	68.80	494.50	529.80	433.60	1.000
15	35.30	51.20	346.90	390.70	342.90	1.000
14	108.60	119.60	273.80	593.90	546.30	1.000
13	114.70	126.80	480.00	792.10	280.90	1.000
12	79.40	94.10	214.60	463.00	296.70	1.000
11	92.90	104.80	466.10	561.80	280.10	1.000
10	83.20	99.20	239.00	387.70	286.50	1.000
9	161.60	174.70	85.40	202.70	224.00	1.000
8	177.00	192.10	372.80	732.20	345.00	1.000
7	126.30	137.70	397.60	483.20	458.00	1.000
6	68.60	81.50	474.90	773.30	514.00	1.000
5	137.50	154.00	490.90	756.10	489.20	1.000
4	52.80	78.90	461.70	501.90	446.50	1.000
3	100.70	122.50	250.00	381.10	378.00	1.000
2	65.10	85.60	299.20	243.40	110.10	1.000
1	63.20	84.30				1.000

Legendă: 1 - ST – secţiune transversală; 2 – Left Bank – malul stâng; 3 – Right – malul drept; 4 – Lengh LOB – lungimea malului stâng; 5 - Lengh Channel – lungimea râului în secţiune; 6 – Lengh ROB – lungimea malului drept; 7 - Cutline to XS Ratio - linia de tăiere care reprezintă aliniamentul pe care curge apa în cadrul unei secţiun

BUPT

Din tabelul 7.2, se pot constata următoarele aspecte:

- există variații semnificative între secțiunile definite în ceea ce privește înălțimea malurilor stâng și drept, indicând un relief variabil de-a lungul râului Cigher;
- lungimea malurilor stâng și drept variază considerabil, ceea ce arată diferențe în geometria fiecărei secțiuni;
- raportul Cutline to XS este constant la 1 ceea ce indică faptul că secțiunile sunt aliniate în mod constant cu cursul râului, fără deviații semnificative.

Secțiunile transversale joacă un rol crucial în simularea și analiza curgerii apei, oferind informații despre geometria râului Cigher și permitând calcularea parametrilor hidraulici esențiali.

Secțiunile transversale descriu forma și dimensiunea râului la diverse puncte de-a lungul cursului acestuia. Aceste secțiuni sunt utilizate pentru a defini geometria râului, inclusiv lățimea, adâncimea, și configurația malurilor.

Secțiunile transversale includ informații topografice care reflectă variațiile terenului în lateralul râului, ceea ce este esențial pentru modelarea exactă a curgerii.

Pe baza secțiunilor transversale, HEC-RAS poate calcula diferiți parametri hidraulici, precum aria umedă (area through which flow occurs), perimetrul umed (wetted perimeter), raza hidraulică (hydraulic radius), și panta fundului canalului (slope of the channel bed). Acești parametri sunt utilizați în ecuațiile de curgere pentru a determina viteza și debitul apei.

Secțiunile transversale permit identificarea și cartografierea zonelor potențial inundabile de-a lungul unui curs de apă prin modelarea diferitelor scenarii de curgere și estimarea extinderii laterale a apei.

Aceste secțiuni permit o analiză detaliată a punctelor critice ale cursului de apă, precum secțiunile unde se pot forma puncte de constricție sau unde pot apărea efecte de retenție a apei.

Secțiunile transversale sunt esențiale pentru calcularea pierderilor de energie din cauza frecării cu malurile, precum și a pierderilor localizate datorate schimbărilor rapide ale geometriei canalului sau prezenței structurilor (de exemplu, poduri, diguri).

7.4.4. Setarea parametrilor pentru analiza de flux permanent

În studiul de caz, pentru modelarea hidrologică, s-a aplicat analiza unidirecţională, în condiţiile curgerii permanente, constante (Steady Flow Analysis).

Steady Flow Analysis este un tip de analiză hidraulică aplicată pentru a modela și evalua comportamentul secţiunii râului Cigher în condiții de curgere constante. Aceasta presupune că, la fiecare secțiune transversală a râului, rata de curgere (debitul), nivelul apei și alte caracteristici hidraulice rămân constante în timp, deși pot varia de la o secțiune transversală la alta de-a lungul lungimii râului.

Prin Steady Flow Analysis au fost calculate profilurile de suprafață ale apei de-a lungul secţiunii, adică modul în care variază nivelul apei în raport cu distanța.

De asemenea, prin acest tip de analiză a fost evaluată extinderea posibilă a inundațiilor, identificând zonele care ar putea fi inundate sub diferite condiții de curgere (debit şi niveluri diferite).

Au fost definite patru scenarii (S1-S4), fiecare cu o rată de curgere și un nivel al apei diferit, variind de la condiții de flux scăzut la potențial de inundații.

Cele patru scenarii (S1, S2, S3 și S4) reprezintă diferite condiții de flux care ar putea fi întâlnite sau anticipate în sistemul râului. Fiecare scenariu corespunde unei combinații specifice de debit (rata de curgere) și nivelul apei (cota).

Pentru cele patru scenarii, ratele de curgere, prognozate pe baza datelor istorice, au fost:

BUPT

- S1: 8 m³/s
- S2: 23 m³/s
- S3: 41 m³/s
- S4: 60 m³/s

Pentru cele patru scenarii, nivelurile apei, prognozate pe baza datelor istorice, au fost:

- S1: 3 m
- S2: 3,2 m
- S3: 3,35 m
- S4: 3,5 m

Referitor la aspectul temporal, determinarea caracteristicilor hidrologice ale celor patru scenarii, s-a făcut pe baza perioadei de recurenţă, la 1 an, 5 ani, 10 ani şi 15 ani.

Prin prognozarea efectelor acestor scenarii de debit pe aceste perioade de timp, analiza poate ajuta la înțelegerea tendințelor pe termen lung în comportamentul râului, transportul sedimentelor, potențialul de eroziune și impactul schimbărilor climatice sau al schimbărilor de utilizare a terenurilor asupra dinamicii râului Cigher.

7.4.5. Modelarea hidraulică a segmentului din râul Cigher

Modelarea steady flow este esențială în evaluarea caracteristicilor hidraulice, cum ar fi profilul suprafeței apei, viteza fluxului, și adâncimea apei în diverse puncte ale râului.

Modelarea se face folosind software-uri specializate, care permite simularea condițiilor hidraulice pentru diferite scenarii. Aceste simulări sunt utile pentru planificarea managementului resurselor de apă, evaluarea riscurilor de inundații, proiectarea structurilor hidraulice și protecția mediului înconjurător ([360]; [256]).

Simplitatea și comoditatea modelului HEC-RAS îl fac un instrument valoros pentru simularea profilurilor de suprafață a apei râului, ajutând la analiza hidraulică a râului, simularea hidrologiei, prognoza inundațiilor și gestionarea acestora ([356]; [13]).

Imaginea din figura 7.17 prezintă un profil longitudinal al segmentului râului Cigher, în care sunt ilustrate diferite scenarii de debit (S1, S2, S3, S4) și niveluri critice asociate. Graficele arată variația elevației (în metri) în funcție de distanța parcursă de-a lungul secţiunii.

Graficul din stânga prezintă mai multe linii care reprezintă diferite condiții de debit și niveluri de apă (S1 – S4).

Liniile "EG" (Energy Grade Line) și "WS" (Water Surface) indică variaţiile energiei și suprafeței apei pentru fiecare scenariu (S1, S2, S3, S4). Acestea sunt esențiale pentru a înțelege cum se propagă energia și unde pot apărea puncte critice pe lungimea râului.

Liniile punctate ("Crit S1", "Crit S2", etc.) reprezintă nivelurile critice pentru fiecare scenariu. Acestea sunt importante pentru identificarea riscurilor de inundare sau alte probleme hidraulice.

Se observă că, pe măsură ce debitul crește (de exemplu, trecerea de la S1 la S4), liniile "WS" și "EG" tind să crească în elevaţie, indicând o suprafață a apei mai ridicată și o energie hidraulică mai mare. Acest lucru poate sugera o capacitate mai mare de transport a râului, dar și un potențial mai mare de eroziune sau inundații.

BUPT

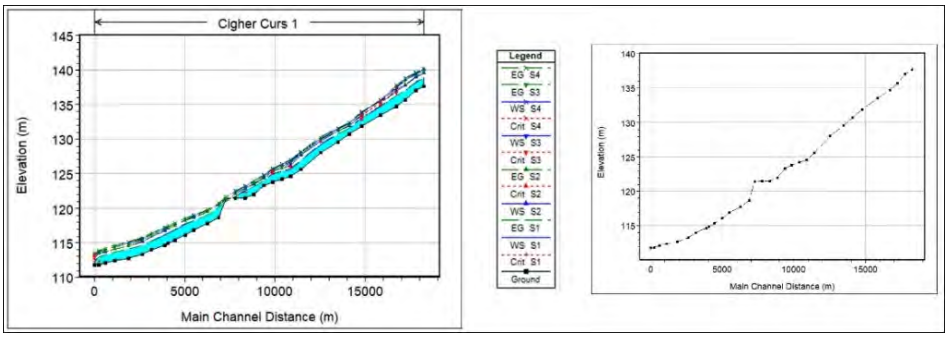


Figura 7.17. Profil longitudinal pe sectorul râului Cigher

Linia "Ground" reprezintă elevația terenului. Este utilă pentru a compara nivelurile apei cu terenul adiacent, pentru a evalua riscurile de inundare (Figura 7.17).

Figura 7.18 oferă reprezentări vizuale cruciale ale unor secţiuni transversale de-a lungul segmentului de râu analizat. Aceste ilustrații servesc ca instrumente utile pentru înțelegerea distribuției spațiale a parametrilor cheie și pentru îmbunătățirea evaluării comportamentului râului.

Punctele roșii descrise pe hărți semnifică puncte situate atât pe malul stâng, cât și pe malul drept al râului, oferind perspective asupra geometriei și morfologiei râului. În plus, culoarea albastră reprezintă nivelul apei, oferind o vizualizare clară a profilului hidraulic al râului în diferite puncte de-a lungul segmentului analizat.

Cele patru linii continue reprezintă nivelul apei în funcţie de scenariile generate.

În figura 7.18, în imaginile din dreapta, este reprezentată viteza apei. Se observă că cele mai mari valori sunt în zona centrală a profilului secţiunilor, respectiv în zona talvegului.

Tabelul 7.3 oferă date detaliate despre caracteristicile segmentului de râu analizat, pentru mai multe scenarii (S1, S2, S3, S4) și pentru diferite stații sau secţiuni transversale (ST) numerotate de la 1 la 32. Aceste date includ valori referitoare la debit, nivelul apei, viteza apei, aria de curgere, lățimea râului și numărul Froude, (indicator al regimului de curgere).

Din tabelul 7.3 se poate constata că, în **scenariul 1 (S1)**, debitul (Q Total - m^3/s) este de 8 m^3/s pentru fiecare ST.

Exemplu:

- în ST32, nivelul minim al râului (Min Ch. El.) este 137.67 m, iar elevarea apei (W.S. Elev) este 138.9 m. Viteza în canal (Vel Chnl) este de 0.56 m/s, iar aria secțiunii de curgere (Flow Area) este 14.21 m^2.

- în ST1, nivelul minim al râului este 111.8 m, iar elevarea apei este 112.27 m. Viteza este de 1.96 m/s, mult mai mare decât la ST=32, iar aria secțiunii de curgere este de doar 4.08 m^2.

În **scenariul 2 (S2)** debitul crește la 23 m^3/s. Acest lucru va duce la creșteri notabile în nivelului și vitezei apei.

Exemplu:

- în ST32, nivelul minim al râului rămâne același ca în S1, dar elevarea apei crește la 139.6 m. Viteza crește la 0.7 m/s, iar aria secțiunii de curgere crește semnificativ la 33.14 m^2.

- în ST1, nivelul apei crește la 112.67 m, iar viteza crește la 2.64 m/s, indicând o creștere în intensitate comparativ cu scenariul S1.

BUPT

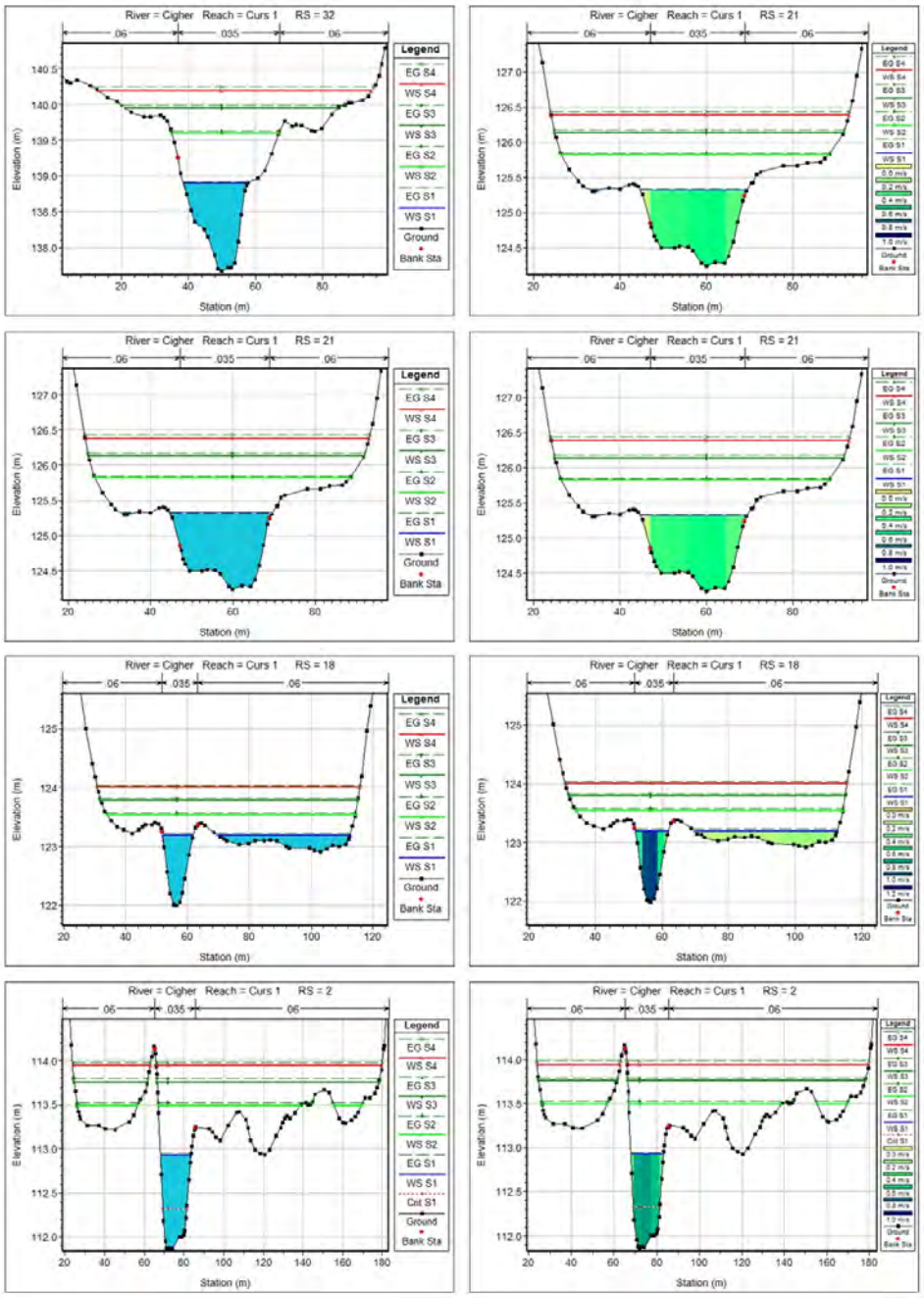


Figura 7.18. Exemple de secţiuni transversale, în diferite scenarii

BUPT

Tabelul 7.3

Rezultate ale analizei scurgerilor, pentru diferite scenarii

ST[1]	S[2]	Q Total (m^3/s)[3]	Min Ch. El. (m)[4]	W.S. Elev (m)[5]	Crit W.S. (m)[6]	E.G. Elev (m)[7]	E.G. Slope (m/m)[8]	Vel Chnl (m/s)[9]	Flow Area (m^2)[10]	Top Width (m)[11]	Froude # Chl[12]
32	S1	8	137.67	138.9		138.92	0.000592	0.56	14.21	19.22	0.21
32	S2	23	137.67	139.6		139.63	0.000543	0.7	33.14	31.9	0.21
32	S3	41	137.67	139.95		139.99	0.000659	0.92	49.8	63.38	0.25
32	S4	60	137.67	140.19		140.25	0.000775	1.11	67.43	81.36	0.27
31	S1	8	137.03	138.19		138.3	0.004287	1.44	5.56	7.82	0.54
31	S2	23	137.03	138.95		139.08	0.003293	1.65	18.1	46.82	0.51
31	S3	41	137.03	139.37		139.47	0.002177	1.58	46.75	87.82	0.43
31	S4	60	137.03	139.59		139.68	0.002122	1.68	66.74	97.61	0.43
30	S1	8	135.74	137		137.04	0.001329	0.94	8.55	9.54	0.32
30	S2	23	135.74	137.89		137.97	0.001305	1.24	18.55	13.17	0.33
30	S3	41	135.74	138.5		138.59	0.001285	1.35	41.49	86.23	0.34
30	S4	60	135.74	138.76		138.85	0.00127	1.49	68.29	110.96	0.35
29	S1	8	134.72	136.29		136.34	0.001464	1.02	7.84	7.99	0.33
29	S2	23	134.72	136.97		137.11	0.002302	1.64	14.59	12.35	0.44
29	S3	41	134.72	137.33	136.74	137.57	0.003506	2.22	24.76	80.91	0.56
29	S4	60	134.72	137.54	137.53	137.8	0.004083	2.5	44.62	114.66	0.61
28	S1	8	133.49	134.75		134.81	0.002139	1.13	8.76	32.06	0.39
28	S2	23	133.49	135.22	134.94	135.27	0.001987	1.21	36.43	87.93	0.39
28	S3	41	133.49	135.48	135.19	135.52	0.001728	1.25	65.29	125.36	0.37
28	S4	60	133.49	135.66	135.29	135.71	0.001657	1.35	89.07	132.74	0.38
27	S1	8	131.87	133.13	132.65	133.15	0.001232	0.84	13.64	33.5	0.3
27	S2	23	131.87	133.53	133.13	133.58	0.001603	1.19	35.56	78.52	0.36
27	S3	41	131.87	133.75	133.36	133.82	0.002002	1.5	56.21	107.44	0.42
27	S4	60	131.87	133.93	133.58	134.01	0.002184	1.7	76.1	117.49	0.44
26	S1	8	130.73	131.56		131.63	0.005912	1.42	8.9	30.31	0.62
26	S2	23	130.73	131.89		131.95	0.00489	1.55	29.31	81.27	0.59
26	S3	41	130.73	132.15		132.2	0.003569	1.52	52.39	104.15	0.52
26	S4	60	130.73	132.33		132.38	0.003258	1.6	75.3	134.5	0.51
25	S1	8	129.59	130.73		130.75	0.000667	0.7	18.54	69.96	0.23
25	S2	23	129.59	131.14		131.16	0.000663	0.8	62.41	130.73	0.24
25	S3	41	129.59	131.34		131.36	0.000841	1	89.39	138.66	0.27
25	S4	60	129.59	131.52		131.54	0.000905	1.12	114.23	142.37	0.29
24	S1	8	128.06	129.19		129.33	0.005757	1.64	4.88	7	0.63

BUPT

24	S2	23	128.06	129.69	129.68	129.84	0.005477	1.9	21.78	73.25	0.64
24	S3	41	128.06	130.01		130.09	0.003158	1.7	47.33	85.08	0.5
24	S4	60	128.06	130.23		130.31	0.002654	1.75	66.26	86.73	0.48
23	S1	8	125.6	126.96		126.99	0.001106	0.77	10.37	13.85	0.28
23	S2	23	125.6	127.67		127.72	0.001009	0.98	24.77	34.41	0.29
23	S3	41	125.6	127.97		128.05	0.001385	1.31	41.19	88.58	0.35
23	S4	60	125.6	128.16		128.26	0.001628	1.54	58.87	97.64	0.39
22	S1	8	124.59	125.65		125.79	0.006038	1.67	4.8	6.98	0.64
22	S2	23	124.59	126.24	126.04	126.5	0.008101	2.27	10.67	20.5	0.78
22	S3	41	124.59	126.65		126.83	0.004323	2.13	32.37	62.65	0.6
22	S4	60	124.59	126.93		127.08	0.003193	2.1	50.74	67.32	0.54
21	S1	8	124.24	125.32		125.33	0.000311	0.44	18.58	27.12	0.16
21	S2	23	124.24	125.82		125.85	0.00043	0.71	41.96	61.99	0.2
21	S3	41	124.24	126.14		126.18	0.00055	0.93	63.43	73.54	0.23
21	S4	60	124.24	126.39		126.43	0.000638	1.1	82.03	76.92	0.26
20	S1	8	123.77	124.95		124.99	0.002165	0.95	8.92	19.88	0.38
20	S2	23	123.77	125.34	125.04	125.42	0.002362	1.36	28.42	76.48	0.43
20	S3	41	123.77	125.58	125.36	125.67	0.002353	1.57	47.7	81.31	0.45
20	S4	60	123.77	125.78		125.87	0.002355	1.73	64.12	84.13	0.46
19	S1	8	123.31	124.01		124.02	0.001689	0.61	17.79	48.51	0.32
19	S2	23	123.31	124.34		124.36	0.001808	0.88	43.87	90.15	0.35
19	S3	41	123.31	124.57		124.6	0.001884	1.1	64.85	96.08	0.38
19	S4	60	123.31	124.76		124.8	0.001889	1.26	84.42	102.08	0.39
18	S1	8	121.99	123.19		123.23	0.001545	0.9	14.72	58.78	0.33
18	S2	23	121.99	123.54		123.57	0.001449	1.04	44.03	99.73	0.34
18	S3	41	121.99	123.79		123.83	0.00133	1.16	69.77	104.22	0.34
18	S4	60	121.99	124		124.04	0.001283	1.27	92.35	110.1	0.34
17	S1	8	121.53	122.56	122.27	122.57	0.001101	0.71	21.26	77.34	0.28
17	S2	23	121.53	122.86		122.88	0.001298	0.95	45.74	83.77	0.32
17	S3	41	121.53	123.08		123.11	0.001538	1.17	64.31	87.62	0.36
17	S4	60	121.53	123.26		123.3	0.001725	1.37	81	98.89	0.39
16	S1	8	121.48	121.84		121.84	0.001758	0.51	24.65	97.4	0.31
16	S2	23	121.48	122.09		122.1	0.001715	0.76	55.56	145.15	0.34
16	S3	41	121.48	122.28		122.3	0.001538	0.89	84.59	150.65	0.34
16	S4	60	121.48	122.46		122.47	0.001414	0.98	110.89	153.04	0.33
15	S1	8	121.41	120.94		120.95	0.002345		21.57	69.1	0
15	S2	23	121.41	121.24		121.26	0.002099		44.56	86.03	0
15	S3	41	121.41	121.48		121.5	0.002105	0.18	66.51	107.81	0.26
15	S4	60	121.41	121.66		121.69	0.002246	0.38	89.16	135.11	0.31

BUPT

14	S1	8	118.69	120.15	120.18	0.00196	1.04	16.06	63.84	0.36
14	S2	23	118.69	120.44	120.48	0.002322	1.22	39.81	95.5	0.4
14	S3	41	118.69	120.64	120.67	0.002652	1.31	62.46	144.4	0.44
14	S4	60	118.69	120.78	120.82	0.00275	1.42	85.09	177.17	0.45
13	S1	8	117.78	119.08	119.12	0.001717	1.01	12.53	53.09	0.35
13	S2	23	117.78	119.47	119.49	0.001383	1.03	56.18	160.44	0.32
13	S3	41	117.78	119.67	119.69	0.001314	1.04	95.15	217.57	0.32
13	S4	60	117.78	119.81	119.83	0.001357	0.99	127.2	237.9	0.32
12	S1	8	116.9	118.25	118.28	0.000852	0.79	11.07	22.24	0.26
12	S2	23	116.9	118.68	118.73	0.001255	1.08	41.13	123.49	0.32
12	S3	41	116.9	118.87	118.92	0.001661	1.28	69.77	165.55	0.37
12	S4	60	116.9	119.01	119.07	0.001796	1.43	93.5	174.16	0.39
11	S1	8	116.12	117.69	117.75	0.001653	1.06	7.51	7.83	0.35
11	S2	23	116.12	118.14	118.18	0.001626	1.14	47.38	162.16	0.35
11	S3	41	116.12	118.36	118.39	0.001345	1.13	85.99	181.99	0.33
11	S4	60	116.12	118.53	118.56	0.00124	1.19	118.36	196.29	0.32
10	S1	8	115.35	116.9	116.94	0.001246	0.94	10.9	36.7	0.3
10	S2	23	115.35	117.42	117.45	0.001279	1.03	38.95	71.08	0.32
10	S3	41	115.35	117.66	117.71	0.001528	1.22	61.34	120.88	0.35
10	S4	60	115.35	117.84	117.89	0.00172	1.36	89.76	197.47	0.38
9	S1	8	114.92	116.45	116.49	0.001166	0.89	11.37	25.39	0.29
9	S2	23	114.92	117.03	117.06	0.00108	1	48.59	131.18	0.3
9	S3	41	114.92	117.28	117.31	0.001044	1.06	88.56	194.34	0.3
9	S4	60	114.92	117.44	117.47	0.001102	1.17	120.72	220.16	0.31
8	S1	8	114.67	116.19	116.23	0.001548	1.01	10.18	19.24	0.33
8	S2	23	114.67	116.77	116.82	0.002021	1.24	31.46	80.3	0.39
8	S3	41	114.67	117.01	117.07	0.00234	1.44	61.79	175.05	0.43
8	S4	60	114.67	117.17	117.22	0.002302	1.48	95.55	231.67	0.43
7	S1	8	114	115.24	115.27	0.001295	0.88	12.29	22.52	0.31
7	S2	23	114	115.95	115.98	0.000982	1.03	42.52	99.55	0.29
7	S3	41	114	116.23	116.27	0.000941	1.15	77.2	137.59	0.29
7	S4	60	114	116.43	116.47	0.000968	1.26	106.55	153.46	0.3
6	S1	8	113.31	114.63	114.67	0.00123	0.92	8.72	9.43	0.3
6	S2	23	113.31	115.16	115.28	0.002481	1.55	18.45	53.83	0.45
6	S3	41	113.31	115.46	115.59	0.002575	1.75	41.25	88.5	0.47
6	S4	60	113.31	115.68	115.8	0.002429	1.87	61.73	103.05	0.47
5	S1	8	112.72	114.14	114.15	0.000452	0.55	25.66	67.96	0.19
5	S2	23	112.72	114.57	114.58	0.000503	0.71	60.62	98.14	0.21
5	S3	41	112.72	114.86	114.87	0.000557	0.83	95.29	136.09	0.22

BUPT

5	S4	60	112.72	115.09		115.1	0.000579	0.9	128.9	158.86	0.23
4	S1	8	112.38	113.72		113.74	0.000784	0.58	17.47	51.76	0.23
4	S2	23	112.38	114.15		114.17	0.000844	0.73	46.96	81.48	0.25
4	S3	41	112.38	114.4		114.43	0.000922	0.91	68.06	85.06	0.28
4	S4	60	112.38	114.6		114.64	0.001027	1.07	85.02	87.44	0.3
3	S1	8	112.12	113.24		113.27	0.001119	0.79	11.95	32.69	0.29
3	S2	23	112.12	113.77		113.79	0.000719	0.71	59.95	146.01	0.24
3	S3	41	112.12	114.03		114.05	0.000672	0.81	102.16	180.24	0.24
3	S4	60	112.12	114.22		114.24	0.000664	0.89	137.25	194.09	0.24
2	S1	8	111.86	112.92	112.33	112.94	0.000674	0.64	12.49	15.23	0.23
2	S2	23	111.86	113.49		113.52	0.000731	0.85	44.9	115.79	0.25
2	S3	41	111.86	113.76		113.79	0.000777	0.99	81.31	150.97	0.26
2	S4	60	111.86	113.94		113.98	0.000819	1.09	111.12	177.34	0.28
1	S1	8	111.8	112.27	112.27	112.47	0.016946	1.96	4.08	10.55	1.01
1	S2	23	111.8	112.67	112.67	113.03	0.01411	2.64	8.7	12.34	1.01
1	S3	41	111.8	113.15	113.15	113.39	0.006913	2.34	26.27	63.42	0.74
1	S4	60	111.8	113.31	113.31	113.56	0.008518	2.53	37.12	71.74	0.82

Legendă: 1 – ST - Secţiunea transversală; 2 – S – Scenariul generat; 3 - Q Total - debitul total al apei care curge printr-o secțiune transversală; 4 - Minimum Channel Elevation (Elevația minimă a canalului/râului); 5 - Water Surface Elevation (Nivelul suprafeței apei); 6 - Critical Water Surface (Altitudinea suprafeței apei în condiții critice); 7 - Energy Grade Elevation (Înălțimea totală a liniei de energie deasupra unui plan de referință; 8 - Energy Grade Slope (Panta liniei de energie); 9 - Velocity in the Channel (Viteza apei); 10 - Flow Area - aria secțiunii transversale prin care curge apa; 11 - Top Width lățimea suprafeței libere a apei într-o secțiune transversală; 12 - Numărul Froude

BUPT

În cazul **scenariului 3 (S3),** debitul crește la 41 m³/s.

Exemplu:

- în ST32, nivelul apei atinge 139.95 m, viteza ajunge la 0.92 m/s, iar aria secțiunii de curgere ajunge la 49.8 m².

- în ST1, nivelul apei ajunge la 113.15 m, viteza este de 2.34 m/s, iar aria secțiunii de curgere crește la 26.27 m².

În **scenariul 4 (S4),** debitul maxim este de 60 m³/s, ceea ce aduce cele mai mari modificări în parametrii analizați.

Exemplu:

- în ST32, nivelul apei este de 140.19 m, viteza ajunge la 1.11 m/s, iar aria secțiunii de curgere este de 67.43 m².

- în ST1, nivelul apei atinge 113.31 m, viteza ajunge la 2.53 m/s, iar aria secțiunii de curgere este de 37.12 m².

Analiza comparativă a parametrilor în cele patru scenarii, arată următoarele:

- viteza apei (Vel Chnl) crește în mod constant de la S1 la S4 pe măsură ce debitul crește. De exemplu, pentru ST32, viteza crește de la 0.56 m/s în S1 la 1.11 m/s în S4, iar pentru ST1, creșterea este și mai pronunțată, de la 1.96 m/s în S1 la 2.53 m/s în S4.

- nivelul apei (W.S. Elev) crește cu fiecare scenariu datorită creșterii debitului. De exemplu, pentru ST32, elevarea apei crește de la 138.9 m în S1 la 140.19 m în S4. La ST1, creșterea este de la 112.27 m în S1 la 113.31 m în S4.

- aria secțiunii de curgere (Flow Area) crește semnificativ odată cu debitul. La ST32, aria secțiunii de curgere crește de la 14.21 m² în S1 la 67.43 m² în S4, iar la ST1, de la 4.08 m² în S1 la 37.12 m² în S4.

- numărul Froude (Froude # Chl) variază, dar nu în mod liniar cu debitul. În general, valorile rămân relativ constante pentru majoritatea scenariilor, cu o ușoară tendință de creștere la debitele mai mari.

Graficul din figura 7.19 prezintă variația vitezei (m/s) în funcţie de distanţa pe secţiunea analizată (m) pentru diferite scenarii (S1-S4) și diverse poziții ale secţiunilor transversale (Vel Left, Vel Chnl, Vel Right).

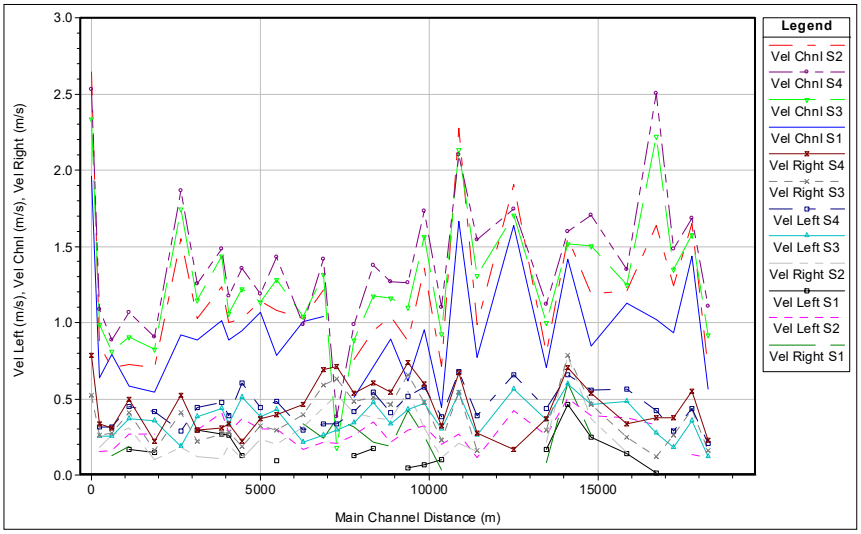


Figura 7.19. Reprezentarea vitezei apei, în funcţie de distanţă şi scenariu

BUPT

Viteza variază semnificativ de-a lungul râului, cu vârfuri și scăderi care indică zone cu turbulențe sau variații în secțiunea transversală a râului.

Scenariul S4 (linia verde punctată pentru Vel Chnl) are cele mai mari vârfuri, atingând viteze de peste 2.5 m/s în anumite secțiuni, ceea ce sugerează un debit mai mare și condiții de curgere mai rapide.

Scenariul S1 (linia albastră pentru Vel Chnl) are în general cele mai mici viteze, ceea ce este în concordanță cu debitul mai mic în acest scenariu.

Scenariile S2 și S3 (linia roșie și respectiv linia violet punctată pentru Vel Chnl) prezintă valori intermediare, dar totuși mai aproape de valorile lui S4 în anumite secțiuni.

Vitezele Vel Left și Vel Right sunt, în general, mai mici decât Vel Chnl (viteza în zona centrală a râului), indicând că curgerea este mai rapidă în centru și mai lentă pe margini, un fenomen tipic pentru organismele acvatice deschise.

Distribuția vitezelor pe partea stângă și dreaptă variază, uneori aceste viteze fiind similare, iar alteori prezentând diferențe notabile, ceea ce poate indica variații în geometria râlui Cigher sau influențe externe (cum ar fi debitul lateral).

Din figura 7.19 se poate observa că există anumite porţiuni pe râu (10.000 și 15.000 m) unde toate scenariile prezintă un vârf de viteză, indicând potențiale puncte de îngustare sau zone unde energia cinetică crește brusc.

Din altă perspectivă, rezultatele simulărilor pot fi reprezentate grafic şi analizate unitar (Figura 7.20).

Figura 7.20 prezintă secțiunile transversale 3D ale sectorului râului Cigher, distribuite pe cele patru scenarii (S1-S4) și secţiuni ale râului grupate astfel: ST 1-8, ST 9-16, ST 17-24, ST 25-32. Fiecare secțiune arată cum variază nivelul apei și lățimea canalului în funcție de diferitele debite.

În fiecare segment (ST 1-8, ST 9-16, ST 17-24, ST 25-32), observăm o tendință consistentă de creștere a nivelului apei și a lățimii acoperite de apă de la S1 la S4.

Scenariile cu debit mai mare (S3 și S4) arată că canalul este aproape complet umplut, indicând o capacitate maximă sau apropiată de aceasta.

Deși tendința generală este similară, segmentele din amonte par să aibă o capacitate mai mică comparativ cu cele din aval, unde râul pare să fie mai adânc și mai lat, permițând un volum mai mare de apă.

Figura 7.20 sugerează că, pentru a gestiona debitele mari (S3 și S4), râul ar trebui să fie monitorizat cu atenție pentru a preveni depășirea capacității maxime, mai ales în segmentele mai înguste sau mai puțin adânci.

În concluzie, imaginea ilustrează modul în care debitul influențează umplerea râului în diferite segmente, oferind o imagine clară a capacității acestuia și a modului în care acesta poate răspunde la diferite scenarii de debit.

Cartografierea rezultatelor modelării hidraulice nu este doar un instrument de vizualizare, ci și un element critic pentru planificarea și managementul durabil al resurselor de apă, prevenirea dezastrelor și protecția infrastructurii și comunităților. Utilizarea acestui instrument contribuie la o mai bună pregătire și adaptare la riscurile hidrologice în creștere ([63]; [340]).

BUPT

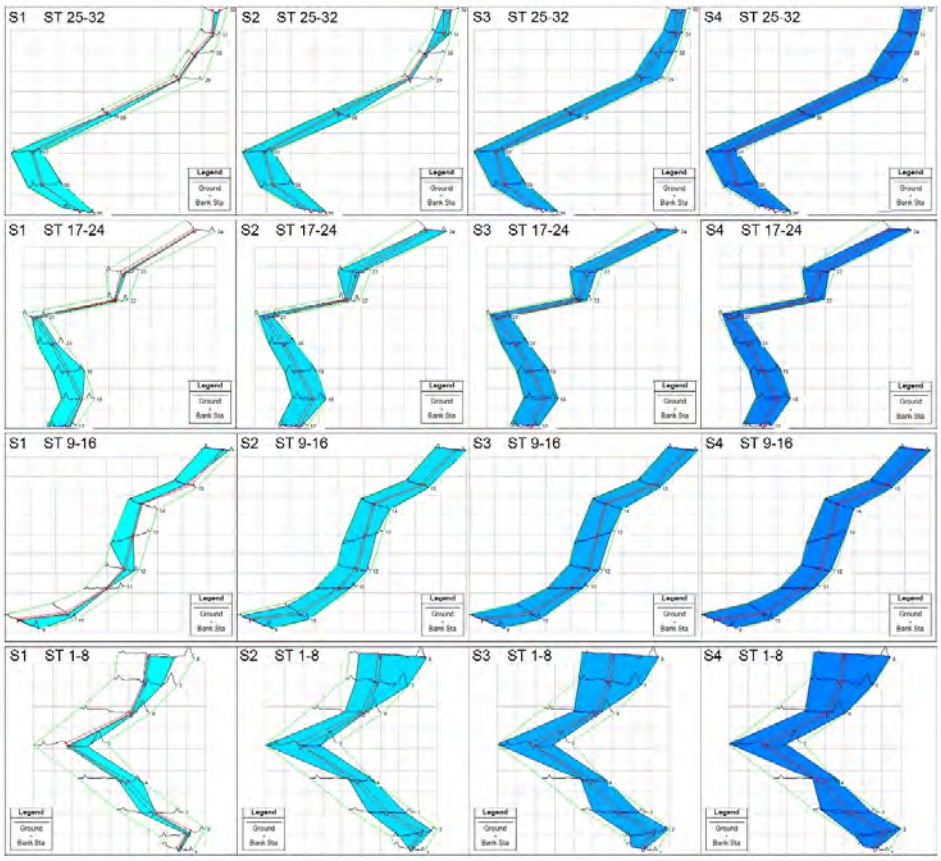


Figura 7.20. Analiza 3D a profilului hidraulic în funcție de debit

În figura 7.21 se prezintă comparativ două zone specifice (Zona 1 și Zona 2) de pe râul Cigher, analizate sub patru scenarii de debit diferite (S1-S4). Această imagine este utilizată pentru a vizualiza efectele diverselor debite asupra acestor zone și pentru a evalua extinderea inundațiilor și comportamentul hidraulic al râului.

Analiza zonei 1:

- în scenariul S1, debitul este redus, iar apa se limitează în mare parte la albia râului, fără a provoca inundații extinse. Terenul înconjurător este colorat predominant în galben și verde, indicând altitudini mai mari și absența inundațiilor semnificative;
- în scenariul S2, creșterea debitului determină o ușoară extindere a suprafeței acoperite de apă, care începe să depășească albia minoră, însă inundațiile rămân controlate;
- în scenariul S3, debitul mai mare duce la inundații mai extinse, apa inundând zone adiacente râului, observându-se o acoperire mai mare a terenului cu apă;
- în scenariul S4, debitul maxim provoacă inundații severe în Zona 1, apa acoperind o mare parte a terenurilor din zona inundabilă, indicând că scenariul S4 reprezintă condițiile de risc maxim pentru această zonă.

BUPT

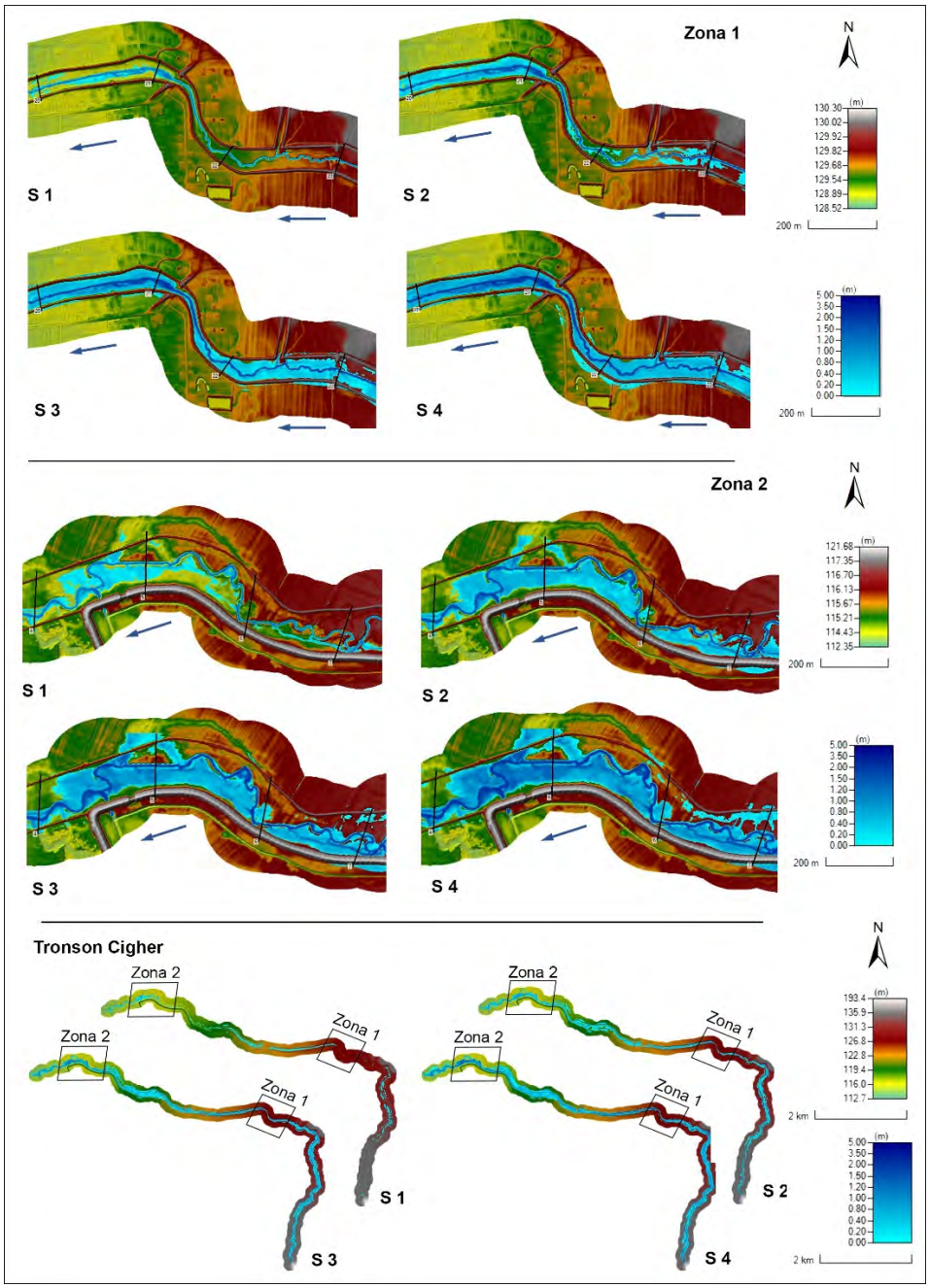


Figura 7.21. Comportamentul hidraulic al râului Cigher: o comparaţie a extinderii inundaţiilor în diferite scenarii

BUPT

Analiza zonei 2:

- în scenariul S1, impactul este similar cu cel din Zona 1, cu apă limitată la albia minoră, fără extinderea semnificativă a inundațiilor;

- în scenariul S2, apa începe să se extindă în afara râului, dar inundațiile rămân moderate, cu o mică creștere a suprafeței acoperite de apă;

- în scenariul S3, debitul ridicat determină inundații mai extinse, iar apa începe să inunde mai multe terenuri din jurul râului;

- în scenariul S4, cu debit maxim, inundațiile devin severe, acoperind cea mai mare parte a zonei cuprinse între digurile de protecţie, similar cu Zona 1.

Imaginea din figura 7.21 subliniază modul în care creșterea debitului, de la S1 la S4, duce la extinderea progresivă a inundațiilor în toate zonele analizate. Scenariile S3 și S4 arată inundații severe, indicând necesitatea unor măsuri de gestionare a riscului pentru a preveni daunele semnificative în condițiile unor debite mari.

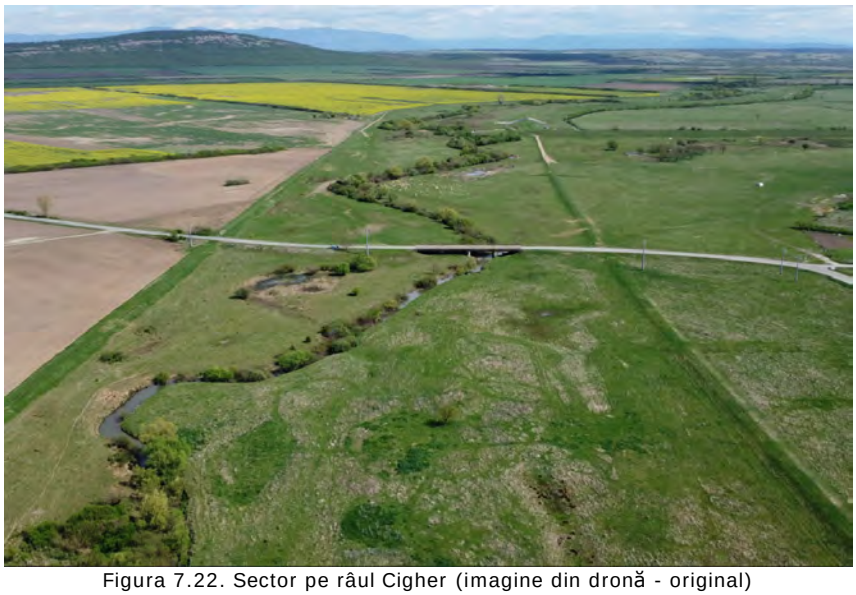


Figura 7.22. Sector pe râul Cigher (imagine din dronă - original)

Hărţile de risc la inundaţii oferă o înțelegere clară a zonelor vulnerabile și sunt esențiale pentru planificarea protecției împotriva inundațiilor și gestionarea riscurilor, în special în scenariile cu debite extreme. Ele se constituie ca un instrument valoros pentru a vizualiza și înțelege impactul debitelor variabile asupra diferitelor segmente ale râului și terenurilor adiacente, facilitând astfel deciziile în planificarea și gestionarea infrastructurii hidrologice (Figura 7.23).

BUPT



Figura 7.23. Pod afectat de viitură pe râul Cigher (imagine din dronă)

7.5. Concluzii şi discuţii

Modelarea hidrologică folosind GIS integrează date geospațiale pentru a analiza caracteristicile reliefului şi caracteristicile hidrologice, la nivelul bazinului Cigher.

La nivelul bazinului analizat, altitudinea variază între 95 și 792 m, ceea ce sugerează un relief variat și complex care influențează distribuția și comportamentul râurilor.

Modelele digitale de elevație (DEM) sunt esenţiale în modelarea hidrologică, oferind informații precise despre topografia terenului. Corectarea DEM-ului pentru eliminarea erorilor, cum ar fi „depresiunile" false, este esențială pentru acuratețea analizei. De exemplu, corectarea DEM-ului în studiul bazinului Cigher a crescut altitudinea minimă de la 94,325 m la 95,408 m, eliminând astfel punctele false de acumulare.

Direcția de curgere a apei este un aspect fundamental al analizei hidrologice, influențând toate analizele ulterioare, inclusiv acumularea scurgerii și delimitarea

BUPT

bazinelor hidrografice. În bazinul Cigher, direcțiile multiple de curgere evidențiază un teren accidentat, cu pante abrupte care contribuie la convergența apelor și potențiale inundații în zonele joase.

Harta acumulării scurgerilor permite trasarea reţelei hidrografice şi identificarea zonelor cu risc ridicat de inundații și eroziune. Valorile mari ale acumulării, indică râurile principale care colectează apa din întreaga rețea, fiind zone critice pentru gestionarea resurselor de apă și prevenirea dezastrelor.

Modelarea hidrologică în GIS nu doar că oferă o înțelegere profundă a dinamicii bazinelor hidrografice, dar permite și integrarea cu alte modele, cum ar fi cele hidraulice sau socio-economice, esențiale pentru planificarea urbană și protecția mediului. Aceste instrumente pot fi utilizate în diverse analize, de la prevenirea inundațiilor la conservarea mediului și planificarea infrastructurii.

Importanța modelării hidraulice rezidă din faptul că, reprezintă un instrument esențial pentru analiza și prognoza comportamentului râului Cigher în diferite scenarii de debit. În cazul râului Cigher, modelarea a permis simularea unor debite variabile de la 8 m^3/s (S1) la 60 m^3/s (S4), oferind astfel o imagine clară a comportamentului râului în diverse condiții.

Analiza hidraulică a folosit patru scenarii distincte (S1-S4), reprezentând diferite condiții de debit și nivel ale apei. Aceasta a demonstrat că, pe măsură ce debitul crește, crește și riscul de inundație. De exemplu, în scenariul S4, debitul maxim de 60 m^3/s a dus la o creștere semnificativă a nivelului apei și la inundații extinse, comparativ cu scenariile cu debite mai mici.

Modelul digital de elevație (DEM) a fost validat cu ajutorul datelor GPS, asigurând astfel o acuratețe ridicată a simulărilor hidraulice. Aceasta a permis o reprezentare precisă a talvegului, malurilor și zonelor inundabile, esențiale pentru evaluarea riscurilor și pentru proiectarea măsurilor de protecție.

Cartografierea rezultatelor obținute prin modelarea hidraulică este crucială pentru planificarea infrastructurii și gestionarea riscurilor de inundații. În cazul râului Cigher, cartografierea a arătat clar zonele vulnerabile, cum ar fi cele din apropierea talvegului, unde viteza apei este cea mai mare, și a sugerat necesitatea monitorizării constante pentru a preveni depășirea capacității râului.

Studiul de caz pe râul Cigher subliniază și necesitatea utilizării modelelor hidraulice pentru a prognoza impactul schimbărilor climatice asupra regimului hidrologic. Prognozele pentru perioade de recurență de 1, 5, 10 și 15 ani ajută la înțelegerea tendințelor pe termen lung și la adaptarea măsurilor de gestionare a riscurilor.

În concluzie, studiul de caz pe râul Cigher subliniază importanța și beneficiile modelării hidraulice detaliate și cartografierii rezultatelor pentru gestionarea eficientă a resurselor de apă și prevenirea riscurilor de inundații. Aceste tehnici sunt cruciale într-un context marcat de schimbări climatice și fenomene hidrologice extreme.

BUPT

8. CONCLUZII, CONTRIBUŢII ORIGINALE ŞI DIRECŢII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

8.1 Concluzii generale

Secţiunea de Concluzii sintetizează principalele aspecte rezultate din cercetarea doctorală intitulată „**Metode avansate bazate pe GIS și teledetecție pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune, în amenajările hidrotehnice și hidroameliorative. Studii de caz: bazinul hidrografic Crișul Alb**”. Concluziile sunt structurate în două părți distincte: prima parte, respectiv primele trei secţiuni, se referă la Stadiul actual al cercetărilor în domeniul fenomenelor de risc hidrogeomorfologic, cu accent pe aplicațiile tehnologiilor geospațiale; a doua parte prezintă concluziile cercetărilor proprii, obținute prin implementarea metodelor avansate bazate pe GIS și teledetecție în studiul bazinului hidrografic Crișul Alb. Concluziile generale sunt în concordanță cu scopul și obiectivele propuse.

PARTEA I-a STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL TEMEI

Secţiunea „**INTRODUCERE ŞI PROBLEME GENERALE**”, bazată pe literatura de specialitate în domeniul tezei de doctorat, prezintă definiția și importanța evenimentelor hidrogeomorfologice precum inundațiile și eroziunea, subliniind influența schimbărilor climatice asupra frecvenței și intensității acestor fenomene și impactul lor semnificativ asupra mediului și societății.

Bazată pe datele din literatura de specialitate, secţiunea „**INUNDAȚIILE LA NIVEL GLOBAL ȘI REGIONAL: MECANISME, DISTRIBUȚIE GEOGRAFICĂ ȘI ESTIMĂRI GEOMATICE**”, analizează factorii care determină inundațiile, distribuția lor globală, exemple recente de inundații semnificative, riscurile specifice României, măsurile de prevenire luate de autorități și utilizarea tehnicilor geomatice pentru analiza și predicția inundațiilor.

Secţiunea intitulată „**EROZIUNEA, LA NIVEL GLOBAL ȘI REGIONAL: MECANISME, DISTRIBUȚIE GEOGRAFICĂ ȘI ESTIMĂRI GEOMATICE**”, bazată de asemenea pe cercetările ştiinţifice din domeniul tezei de doctorat, explorează factorii care contribuie la eroziune, distribuția geografică globală și regională a zonelor afectate, riscurile de eroziune în Europa și România, precum și metodele geomatice utilizate pentru analiza, prevenirea și combaterea acestui fenomen.

PARTEA A II-A REZULTATELE CERCETĂRILOR PROPRII

Secţiunea „**MODELE ȘI TEHNICI GEOSPAȚIALE ÎN STUDIUL INTEGRAT AL BAZINULUI CRIȘUL ALB**”, analizează structura complexă a bazinului hidrografic, incluzând aspecte legate de relieful variat, distribuția precipitațiilor, vulnerabilitatea solurilor, dinamica rețelei hidrografice şi a modului de utilizare a terenului.

• ***Suprafața și caracteristicile bazinului hidrografic.*** Bazinul hidrografic al Crișului Alb se întinde pe o suprafață totală de 422.798 ha și are un perimetru de 521.965 m. Acesta este situat în vestul României, suprapunându-se în principal

BUPT

județului Arad, cu extensii în județele Hunedoara, Alba și Bihor. Relieful este variat, cu altitudini cuprinse între 82 m, în zonele joase de câmpie și 1.587 m, în zona montană, în Munții Bihorului, ceea ce conferă bazinului o complexitate geomorfologică semnificativă. Altitudinea medie este de 323 m, iar 42% din suprafață se află sub 200 m, indicând preponderența unui relief colinar și de câmpie. Doar 4% din teritoriu se află la altitudini peste 801 m, ceea ce limitează zonele montane ale bazinului.

• ***Distribuția precipitațiilor și riscul de inundații***. Regimul pluviometric variază în funcție de altitudine, cu valori mai ridicate în zonele montane și mai reduse în câmpii. De exemplu, în Roșia Montană, la o altitudine de 1.196 m, media multianuală a precipitațiilor este de 1.146,2 mm, iar la Ștei (279 m) aceasta este de 1.079,8 mm. În contrast, la Alba Iulia (253 m), precipitațiile medii sunt de 492,5 mm, iar la Vărădia de Mureș (156 m) doar 464,9 mm. Excepții sunt observate, cum ar fi la Chisineu-Criș (96 m), unde precipitațiile sunt relativ ridicate (869,9 mm), indicând influențe locale asupra climatului. Efectul precipitațiilor mai abundente din zonele montane se resimte în zonele joase, unde factori locali favorizează acumularea de apă și sugerează riscul de inundații.

• ***Tipurile de sol și vulnerabilitatea la inundații și eroziuni.*** Solurile din bazin sunt variate, influențate de factorii geomorfologici și climatici. Cernoziomurile, soluri foarte fertile, se întind pe 61.834 ha (15% din teritoriu) și predomină în câmpii. Aluviosolurile, prezente pe 48.284 ha (11% din teritoriu), sunt întâlnite de-a lungul cursurilor de apă și sunt fertile, dar susceptibile la inundații. Solurile argiloase, care acoperă suprafețe extinse, sunt dense și au o capacitate mare de retenție a apei, ceea ce le face vulnerabile la stagnarea apei și, implicit, la întreținerea inundațiilor. În același timp, solurile nisipoase (extinse pe doar 476 ha) sunt poroase, permițând infiltrarea rapidă a apei, dar sunt predispuse la eroziune, mai ales în condiții de precipitații intense sau vânturi puternice.

• ***Rețeaua hidrografică***. Crișul Alb, principalul râu al bazinului, are o lungime de 234 km și drenează o suprafață de 4.228 km². Rețeaua hidrografică include 103 râuri, cu o lungime totală de 1.667 km, din care 42 afluenți de ordin II, 48 afluenți de ordin III și 10 afluenți de ordin IV, ceea ce contribuie la dinamica hidrologică a bazinului. Perioadele de viituri sunt frecvente în timpul primăverii și toamnei, când se înregistrează precipitații abundente și topirea zăpezilor.

• ***Schimbările în utilizarea terenului între 1990 și 2018***. Analiza dinamicii terenurilor din bazinul Crișului Alb relevă schimbări majore în utilizarea acestora pe parcursul a aproape trei decenii. Suprafața împădurită a crescut cu 6.089 ha, reflectând tendințele de abandon al pajiștilor și a altor terenuri agricole, în special în zonele de deal și în cele montane. În același timp, terenurile arabile au înregistrat o creștere semnificativă, de 18.150 ha, ceea ce indică o intensificare a agriculturii în zona de câmpie. În contrast, zonele umede au scăzut cu 5.579 ha, ceea ce poate poate afecta biodiversitatea locală.

• ***Proiecții pentru 2035***. Se preconizează o extindere suplimentară a terenurilor arabile, cu o creștere de 12.273 ha (10,24%), în detrimentul pajiștilor și culturilor complexe, care vor scădea cu 3.656 ha (5,97%) și respectiv 5.908 ha (63,82%). În schimb, pădurile vor continua să crească, cu 2.390 ha (1,36%), ceea ce atrage un semnal de alarmă asupra modului de organizare a terenului în anumite zone componente ale bazinului.

În concluzie, analiza geospațială a bazinului Crișul Alb oferă o imagine detaliată a dinamicii terenului, a potențialelor riscuri de inundații și eroziune, precum și a schimbărilor în utilizarea terenurilor; proiecțiile pentru 2035 subliniind necesitatea unor măsuri durabile de gestionare a resurselor naturale.

BUPT

În secţiunea intitulată „**METODELE AVANSATE DE ESTIMARE A SUSCEPTIBILITĂŢII LA INUNDAȚII BAZATE PE GIS ȘI TELEDETECȚIE, ÎN CONTEXTUL ÎMBUNĂTĂȚIRILOR FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: BAZINUL CRIȘUL ALB"** a fost utilizată o abordare complexă, bazată pe analiza a zece factori relevanți, evaluați și combinați cu ajutorul tehnologiilor GIS. Acești factori, fiecare cu ponderea și semnificația lor în procesul de evaluare a riscului, sunt interdependenți și contribuie, în mod variabil, la determinarea zonelor expuse la inundații. Combinarea acestor factori oferă o imagine detaliată a riscurilor și susține adoptarea unor măsuri eficiente pentru managementul și prevenirea inundațiilor.

Cei zece factori analizați, ponderea (%) și rolul lor în estimarea susceptibilității la inundații, se prezintă astfel:

• ***Precipitațiile (13%)*** reprezintă unul dintre cei mai importanți factori în generarea inundațiilor, influențând direct alimentarea debitelor râurilor și saturația solului. Cantitățile mari de precipitații, în special în perioade scurte, contribuie la creșterea riscului de inundații.

În bazinul Crișul Alb, s-a observat o variație semnificativă a precipitațiilor între zone, cu valori cuprinse între 510 și 1048 mm/an, cele mai mari cantități fiind înregistrate în partea centrală și nord-estică a bazinului.

• ***Densitatea drenajului (9%)*** exprimată în km/km², măsoară gradul de dezvoltare a rețelei hidrografice. Cu cât densitatea este mai mare, cu atât susceptibilitatea la inundații crește, deoarece apa se poate acumula și scurge mai rapid în râuri.

În bazinul Crișul Alb, densitatea drenajului variază între 0 și 3,1 km/km². Zonele cu densitate mare, aflate în sud și nord, sunt expuse unui risc ridicat de inundații, în timp ce zonele cu densitate redusă, în special în sud-vest, sunt mai puțin afectate.

• ***Elevația (12%)*** sau altitudinea terenului influențează direcția și viteza scurgerii apei. Zonele joase, aflate la altitudini între 82 și 206 m, sunt cele mai vulnerabile la inundații, deoarece apa tinde să se acumuleze în aceste zone. În schimb, terenurile situate la altitudini mari (861-1587 m), care se găsesc în special în zonele montane, sunt mai protejate datorită pantei ridicate, care facilitează scurgerea rapidă a apei.

• ***Panta terenului (10%)*** influențează viteza de scurgere a apei și capacitatea terenului de a reține apa. În zonele cu pante mari (24-59º), apa se scurge rapid, reducând riscul de inundații prin acumulare. În schimb, în zonele cu pante mici (0-4º), apa stagnează și crește riscul de inundații.

În Crișul Alb, pantele mari se găsesc în zonele montane, care sunt mai puțin expuse riscului de inundații. În schimb, zonele de câmpie și depresiuni, unde pantele sunt reduse, au un risc semnificativ mai mare de inundații.

• ***Distanța față de râuri (14%)*** este un factor critic în evaluarea riscului de inundații. Cu cât o zonă este mai apropiată de un râu, cu atât riscul de inundații este mai mare. Zonele situate la mai puțin de 100 m de râuri prezintă un risc foarte mare de inundații, în timp ce distanțele mai mari de 701 m reduc acest risc.

În bazinul Crișul Alb, majoritatea teritoriului este aproape de rețeaua hidrografică, ceea ce crește riscul de inundații, în special în zona de câmpie joasă.

• ***Indicele NDVI (6%)*** măsoară gradul de acoperire a terenului cu vegetație, ceea ce influențează infiltrarea apei și reducerea riscului de inundații. Vegetația densă acționează ca o barieră naturală împotriva scurgerii apei.

Zonele montane ale bazinului Crișului Alb, acoperite cu păduri dense, sunt mai puțin vulnerabile la inundații, în timp ce zonele agricole din câmpie, cu acoperire vegetativă redusă, prezintă un risc mai ridicat.

BUPT

• ***Topographic Wetness Index (TWI) (14%)*** indică potențialul de saturație al apei într-o zonă și este esențial pentru evaluarea susceptibilității la inundații. Zonele cu TWI ridicat sunt predispuse la acumulare de apă și, implicit, la inundații.

În bazinul Crișul Alb, TWI este mare în zonele de câmpie, unde apa se acumulează ușor, iar altitudinile mici favorizează stagnarea apei. Zonele montane, cu pante mari și TWI scăzut, sunt mai puțin susceptibile la inundații.

• ***Tipurile de sol (9%)*** influențează infiltrarea și scurgerea apei. Solurile argiloase, compacte, au permeabilitate redusă și favorizează acumularea apei la suprafață, crescând riscul de inundații. În schimb, solurile nisipoase permit o infiltrare mai bună și reduc riscul de inundații.

În bazinul Crișul Alb, solurile argiloase din câmpie prezintă un risc mare de inundații, în timp ce solurile nisipoase din zonele de deal și montane au un risc redus.

• ***Distanța față de drumuri (6%).*** Infrastructura rutieră poate influența susceptibilitatea la inundații, deoarece drumurile impermeabile pot crea bariere și pot redirecționa apa, crescând riscul de inundații locale.

Zonele aflate la 0-50 m de drumuri, în bazinul Crișul Alb, au un risc ridicat de inundații, deoarece drumurile reduc permeabilitatea terenului.

• ***Utilizarea terenului (LULC) (7%)*** influențează scurgerea apei și riscul de inundații. Zonele urbane și terenurile agricole sunt mai vulnerabile la inundații din cauza impermeabilizării solului, în timp ce pădurile și vegetația densă reduc acest risc.

În bazinul Crișul Alb, jumătatea estică, acoperită de păduri, este mai bine protejată, în timp ce jumătatea vestică, dominată de terenuri agricole, este mai susceptibilă la inundații.

• Pe baza celor zece factori menționați, s-au generat hărți individuale pentru fiecare parametru și, ulterior, acestea au fost combinate și suprapuse în mediul GIS pentru a crea o hartă finală a susceptibilității la inundații. Harta finală clasifică zonele în funcție de nivelul de risc: foarte scăzut, scăzut, moderat, mare și foarte mare. Rezultatele cercetărilor arată că:

- 25% din suprafața bazinală (100.133 ha) este clasificată cu risc scăzut de inundații, situată în principal în zonele montane înalte, unde pantele mari favorizează scurgerea rapidă a apei;

- 61% din suprafață (269.268 ha) prezintă un risc moderat de inundații, fiind localizată în zonele de dealuri și câmpie joasă, inclusiv Câmpia Mureșului;

- 12% din suprafață (52.645 ha) are un grad mare de susceptibilitate la inundații, corespunzând zonelor depresionare și de câmpie joasă;

- 2% din suprafață (81 ha) se încadrează în clasa cu risc foarte mare de inundații, acestea fiind terenuri aflate pe microforme de relief de tasare, în câmpia joasă și lângă văile râurilor.

Aceste rezultate evidențiază că zonele cele mai expuse la inundații sunt localizate în câmpie și în apropierea râurilor, zone care includ și multe așezări umane și terenuri agricole, punând astfel în pericol populația și producția agricolă.

• Studiul realizat asupra bazinului Crișul Alb, prin combinarea factorilor fizici și antropici, evidențiază o vulnerabilitate semnificativă la inundații în zonele de câmpie și depresiuni. În aceste zone, măsurile de prevenire și gestionare a inundațiilor, cum ar fi reabilitarea infrastructurii hidrotehnice, monitorizarea precipitațiilor și a rețelei hidrografice, sunt esențiale pentru protejarea comunităților și a resurselor agricole.

• Referitor la ***analiza impactului potențial al inundațiilor asupra claselor de utilizare a terenului***, s-a constatat că majoritatea terenurilor studiate (64%) sunt expuse unui risc moderat de inundații, în special terenurile arabile și pajiștile, care pot suferi pierderi semnificative în perioadele de inundații. Zonele rezidențiale și

BUPT

suprafețele artificiale sunt de asemenea vulnerabile, fiind în mare parte expuse la risc moderat (71%, respectiv 68%), ceea ce subliniază necesitatea unor măsuri de protecție urbană și de gestionare sustenabilă a terenurilor agricole pentru a atenua impactul inundațiilor.

• Referitor la ***măsurile de management pentru reducerea riscului de inundații***, este necesară o abordare multidimensională, esențială pentru a reduce semnificativ riscul de inundații în bazinul hidrografic al Crișului Alb. Aceste măsuri includ reabilitarea și modernizarea infrastructurii hidrotehnice (diguri, canale de desecare/drenaj), promovarea practicilor agricole sustenabile (rotația culturilor, minimizarea lucrărilor agricole), zonarea teritorială pentru a evita construcțiile în zone de risc, utilizarea tehnologiilor avansate de monitorizare (GIS, sisteme de avertizare), precum și educarea publicului și colaborarea interinstituțională pentru implementarea eficientă a acestor măsuri. Aceste acțiuni pot proteja comunitățile locale, infrastructura și mediul împotriva efectelor devastatoare ale inundațiilor.

"MODELAREA SPAȚIALĂ A EROZIUNII SOLULUI PRIN TEHNICI GIS, CU APLICAȚII PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIRILE FUNCIARE. STUDIU DE CAZ: BAZINUL CRIȘUL ALB" evidențiază importanța utilizării tehnologiilor moderne pentru evaluarea și gestionarea eroziunii solului, evidențiind variabilitatea acestui fenomen în funcție de factorii naturali și antropici și propunând măsuri de intervenție specifice pentru zonele cu risc ridicat.

• ***Modelarea spațială și analiza factorilor contributori la eroziunea solului*** prin utilizarea modelului USLE și tehnologiilor GIS, este esențială pentru a înțelege și gestiona fenomenele complexe de eroziune. Factorii principali care contribuie la eroziune, precum erozivitatea precipitațiilor (R), erodabilitatea solului (K), topografia (LS), utilizarea terenului (C) și practicile de conservare (P), au fost analizați și cuantificați.

Factorul R, respectiv erozivitatea precipitațiilor, a fost determinat pe baza intensității și volumului precipitațiilor în perioada 2013-2022. În acest interval, precipitațiile medii anuale au variat între 247 mm (la Alba Iulia, în 2013) și 1739 mm (la Rusca Montană, în 2021). Această variabilitate este un indicator al diferențelor în intensitatea proceselor de eroziune cauzate de ploi în diferite subzone ale bazinului. Factorul R a fost calculat cu valori între 275.85 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$ (în zona de câmpie, sud-vest) și 571.59 MJ mm $ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$ (în zona montană centrală și estică), ceea ce sugerează că regiunile cu pante mari și precipitații intense sunt mult mai susceptibile la eroziune. Astfel, în aceste zone este necesară implementarea unor măsuri stricte de conservare a solului.

Factorul K (erodabilitatea solului) care reflectă susceptibilitatea solului la eroziune în funcție de textura sa și de alte proprietăți fizice, a variat între 0.04 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$ (pentru solurile nisipoase) și 0.6 t $ha^{-1}MJ^{-1}mm^{-1}$ (pentru solurile argiloase). Solurile cele mai vulnerabile la eroziune sunt cele argiloase, distribuite preponderent în zonele premontane și de deal. De asemenea, acest factor este influențat de structura solului și permeabilitatea sa, iar zonele cu valori mari necesită măsuri suplimentare pentru a preveni degradarea solului prin eroziune.

Factorul LS, respectiv topografia terenului, influențează în mod semnificativ eroziunea, prin lungimea și înclinarea pantei. În bazinul Crișului Alb, relieful variază între 82 și 1587 m altitudine, iar valorile factorului LS au variat între 0 și 16.56, cu valori ridicate concentrate în zonele cu pante abrupte din estul și sudul bazinului. Această variabilitate sugerează că terenurile cu pante lungi și abrupte sunt cele mai vulnerabile la eroziune și necesită măsuri active de conservare, cum ar fi terasarea.

BUPT

Factorul C (acoperirea terenului) cuantifică efectul acoperirii vegetale asupra eroziunii. În bazinul Crișului Alb, valorile au variat între 0.03 și 1.41, zonele cu vegetație densă (în special pădurile) având valori mici, ceea ce indică o protecție eficientă împotriva eroziunii, iar zonele agricole și neacoperite de vegetație având valori mari, ceea ce le face susceptibile la eroziune accelerată. De exemplu, plantațiile viticole au prezentat o eroziune moderată, cu 85% din terenuri în clasa de eroziune scăzută (0-3 t/ha/an), dar cu 2% în clasa de eroziune moderată (11-20 t/ha/an).

Factorul P, respectiv practicile de conservare, joacă un rol crucial în reducerea eroziunii. Factorul P cuantifică efectul acestor măsuri. În zona de studiu, factorul P a variat între 0.2 și 5.2, valori minime fiind asociate zonelor cu pantă redusă și practicilor agricole conservatoare, iar valori mai mari fiind întâlnite în zonele montane și deluroase, unde practicile de conservare sunt mai puțin eficiente sau lipsesc.

• ***Estimarea susceptibilității la eroziunea solului în bazinul Crișului Alb***

În urma modelării spațiale și a aplicării USLE (Universal Soil Loss Equation), s-a estimat că rata medie de eroziune în bazinul Crișului Alb este de 2.60 t/ha/an, valoare aflată sub media de 2.98 t/ha/an.

În funcție de severitatea eroziunii, s-au identificat mai multe clase de susceptibilitate:

- 74% din teritoriu are o eroziune foarte scăzută, sub 3 t/ha/an. Acestea sunt în mare parte terenuri situate în zone de câmpie joasă, lunci și depresiuni, unde pantele sunt reduse, iar vegetația naturală sau cea agricolă oferă un nivel adecvat de protecție împotriva eroziunii;
- aproximativ 14% din terenuri se încadrează în clasa de eroziune scăzută, între 3.1 și 10 t/ha/an. Aceasta include regiuni de tranziție între câmpii și dealuri;
- 7% din teritoriu prezintă o eroziune moderată, între 11 și 20 t/ha/an, ceea ce necesită intervenții susținute pentru prevenirea degradării severe;
- 4% din teritoriu prezintă o eroziune ridicată (21-40 t/ha/an) și foarte ridicată (peste 41 t/ha/an), acestea fiind concentrate în zonele montane și premontane, unde pantele abrupte și precipitațiile abundente cresc riscul de eroziune accelerată.

• ***Evaluarea impactului eroziunii în profil teritorial***

Eroziunea solului afectează diferit subzonele bazinului Crișului Alb. Zonele montane și premontane prezintă un risc ridicat de eroziune din cauza pantei și precipitațiilor, în timp ce câmpiile au o susceptibilitate mai redusă. Localitățile și infrastructura sunt relativ protejate, situându-se în zone cu eroziune scăzută. Distribuția spațială a eroziunii indică faptul că cele mai mari riscuri sunt concentrate în regiunile cu pante abrupte și vegetație deficitară, necesitând măsuri de reîmpădurire și terasare pentru a stabiliza solul și a preveni pierderile de terenuri agricole și infrastructură.

• ***Analiza impactului eroziunii la nivel de subbazine componente***

Subbazinele din bazinul Crișului Alb variază considerabil în ceea ce privește susceptibilitatea la eroziune. Cele mai multe subbazine prezintă o eroziune foarte scăzută (0-3 t/ha/an), dar anumite subbazine, cum ar fi Valea Satului și Bucuresci, au rate ridicate de eroziune, unele depășind 41 t/ha/an. Aceste zone necesită măsuri urgente de intervenție, cum ar fi terasarea și restaurarea vegetației naturale. În subbazinele cu eroziune scăzută, măsurile de conservare pot fi mai puțin intensive, dar monitorizarea continuă este esențială.

• ***Analiza impactului asupra claselor de utilizare a terenului***

Analiza în funcție de utilizarea terenului arată că terenurile arabile și zonele construite prezintă o eroziune foarte scăzută, majoritatea fiind clasificate în intervalul 0-3 t/ha/an. Pe de altă parte, plantațiile viticole și pajiștile prezintă o susceptibilitate

BUPT

mai ridicată la eroziune, în special în zonele de dealuri și pante abrupte. Pădurile și vegetația naturală oferă o protecție eficientă împotriva eroziunii, dar în zonele cu relief accidentat, eroziunea rămâne o problemă. Pentru terenurile cu eroziune moderată sau ridicată, sunt necesare măsuri de conservare, precum rotația culturilor și păstrarea vegetației naturale.

• ***Măsurile de management pentru reducerea și combaterea eroziunii solului*** sunt adaptate condițiilor specifice fiecărei zone și includ: strategii eficiente precum gestionarea precipitațiilor prin construcția de terase, reducerea erodabilității solului prin utilizarea tehnicilor agricole sustenabile, gestionarea topografiei prin terasare, și implementarea practicilor de conservare, cum ar fi agricultura în benzi și aplicarea mulciului. Aceste intervenții sunt esențiale pentru prevenirea degradării solului, menținerea productivității agricole și protejarea ecosistemelor, succesul lor depinzând de monitorizarea continuă și educarea fermierilor.

Analizele spațiale prezentate în secțiunea „**APLICAREA METODELOR GEOSPAȚIALE ȘI A MODELĂRII HIDRAULICE ÎN STUDIUL BAZINELOR HIDROGRAFICE**” demonstrează importanța aplicării metodelor geospațiale și a modelării hidraulice în studiul bazinelor hidrografice, cu scopul de a gestiona eficient resursele de apă și de a preveni riscurile hidrogeomorfologice.

• ***Etape și metode de modelare hidrologică prin GIS. Studiu de caz: bazinul Cigher***

În bazinul râului Cigher, altitudinea variază între 95 și 792 m, indicând un relief variat. Zonele joase sunt predominant în nord, iar sudul este caracterizat de dealuri cu pante abrupte. Prin corectarea DEM-ului inițial, altitudinea minimă a crescut de la 94.325 m la 95.408 m, eliminând erorile de interpolare ce ar fi afectat analiza hidrologică.

Zonele joase devin susceptibile la inundații în perioadele de precipitații intense sau topirea rapidă a zăpezilor, în timp ce zonele înalte prezintă risc de eroziune și alunecări de teren.

Direcția de curgere a apei a fost determinată prin algoritmul D8, în ArcGIS, arătând un teren accidentat în jumătatea nordică a bazinului, cu multiple direcții de curgere, care converg în zone critice de acumulare a apei și care necesită monitorizare pentru prevenirea inundațiilor.

Această analiză este esențială pentru planificarea infrastructurii și managementul riscurilor de inundații.

Valorile de acumulare a apei în bazin variază între 0 și 752.840, valorile mari indicând râurile principale, care colectează apa din întreaga rețea a bazinului.

Harta acumulării scurgerii indică zone de risc ridicat, susceptibile la eroziune și inundații în caz de precipitații intense.

Rețeaua hidrografică din bazin este bine definită, având densitate mare, ceea ce sugerează o topografie variată cu multe văi și depresiuni.

• ***Etape și metode de modelare hidraulică pentru analiza curgerii permanente. Studiu de caz: râul Cigher***

În perioada 2013-2017, la stația hidrometrică Chier, debitul maxim înregistrat a fost de 24 m^3/s pe 31 martie 2013, iar maximul secundar de 22,3 m^3/s a fost înregistrat pe 27 februarie 2016.

Nivelul maxim al apei a fost de 3,5 m pe 31 martie 2013, iar maximul secundar de 3,37 m a fost înregistrat pe 27 februarie 2016.

Valorile mari de debit și niveluri în lunile de sfârșit de iarnă și primăvară indică efectul sezonier al topirii zăpezilor și precipitațiilor intense.

BUPT

Modelarea hidraulică s-a realizat în software-ul HEC-RAS, fiind stabilite patru scenarii (S1...S4): S1 cu un debit de 8 m³/s și nivelul apei de 3 m; S2 cu un debit de 23 m³/s și nivelul de 3,2 m; S3 cu un debit de 41 m³/s și nivelul de 3,35 m şi S4 cu un debit de 60 m³/s și nivelul de 3,5 m.

Scenariile sunt utilizate pentru a prognoza extinderea inundațiilor și a evalua riscurile asociate curgerilor mari pe termen lung.

În scenariul S1, viteza apei în talveg variază între 0,56 m/s (ST32) și 1,96 m/s (ST1). În scenariul S4, viteza apei ajunge la 1,11 m/s (ST32) și 2,53 m/s (ST1).

Aria secțiunii de curgere crește de la 14,21 m² în S1 la 67,43 m² în S4 pentru ST32, și de la 4,08 m² în S1 la 37,12 m² în S4 pentru ST1.

Hărțile de risc la inundații, bazate pe scenariile de debit, arată extinderea progresivă a inundațiilor, scenariile S3 și S4 prezentând riscuri maxime pentru zonele analizate.

În concluzie, integrarea metodelor GIS și a modelării hidraulice oferă o abordare complexă și riguroasă pentru predicția fenomenelor de risc și gestionarea durabilă a resurselor hidrologice, contribuind la o planificare mai precisă și adaptată schimbărilor climatice și socio-economice.

8.2. Contribuţii originale

Cercetările prezentate în această teză de doctorat au urmărit dezvoltarea și aplicarea unor metode avansate bazate pe GIS și teledetecție pentru evaluarea și estimarea susceptibilității la inundații și eroziune, cu scopul de a îmbunătăți gestionarea riscurilor hidrologice și geomorfologice în amenajările hidrotehnice și hidroameliorative, având ca studiu de caz bazinul hidrografic Crișul Alb.

Contribuțiile originale ale cercetărilor realizate în teza de doctorat se pot detalia astfel:

1. Aplicarea tehnologiilor avansate de GIS și teledetecție pentru analiza geospațială a bazinului Crișul Alb:

- prin utilizarea unui model geospațial integrat, teza a oferit o evaluare detaliată a caracteristicilor geomorfologice, climatice şi hidrologice ale bazinului, acoperind o suprafață extinsă de 422.798 ha. Această evaluare a permis identificarea zonelor potenţiale cu risc ridicat de inundații și eroziune, luând în considerare altitudinea, panta, tipurile de sol și distribuția precipitațiilor;

- un element inovator al acestei analize spaţiale a fost integrarea variabilelor geospațiale într-un model complex, ceea ce a oferit o reprezentare precisă și actualizată a vulnerabilităților bazinului. Aceasta a permis obținerea de informații esențiale care pot fi utilizate pentru planificarea și gestionarea durabilă a resurselor naturale şi a riscurilor hidrogeomorfologice;

2. Analiza dinamicii utilizării terenului între 1990 și 2018 și proiecții pentru 2035:

- studiul a analizat schimbările semnificative în utilizarea terenurilor din bazinul hidrografic Crișul Alb pe parcursul a aproape trei decenii, demonstrând creșterea suprafețelor arabile și a pădurilor, dar și scăderea zonelor umede. Această evaluare a oferit perspective asupra impactului schimbărilor naturale şi/sau antropice asupra riscurilor de inundații și eroziune;

- prin predicţiile pentru anul 2035, s-a anticipat extinderea terenurilor arabile și reducerea pajiștilor și a culturilor complexe, subliniind necesitatea unor măsuri de management sustenabil al terenurilor. Aceste date pot contribui la dezvoltarea unor

BUPT

strategii pe termen lung pentru gestionarea terenurilor și prevenirea degradării mediului în bazinul hidrografic analizat;

3. Aplicarea unei metodologii complexe de evaluare a susceptibilității la inundații:

- cercetarea a adus o contribuție semnificativă prin evaluarea susceptibilității la inundații pe baza a zece factori esențiali (precipitații, panta, altitudine, densitatea drenajului, distanța față de râuri, NDVI, TWI, tipul de sol, distanța față de drumuri și utilizarea terenului). Fiecare factor a fost ponderat și combinat folosind tehnici GIS, rezultând hărți detaliate ale riscului de inundații pentru bazinul Crișul Alb;
- un avantaj major al fluxului de lucru aplicat, este faptul că fiecare factor, reprezentat cartografic şi analitic (non-descriptiv), poate fi utilizat individual, pentru analiza a diferite aspecte ale teritoriului considerat (relief, mod de utilizare a terenului, harta precipitaţiilor, etc);
- această metodologie poate fi replicată în alte bazine hidrografice, oferind un cadru solid pentru evaluarea riscurilor de inundații la nivel regional. În plus, harta finală a susceptibilității la inundații poate fi utilizată de autorități pentru a implementa măsuri de prevenire a dezastrelor și de protecție a comunităților expuse la inundații;

4. Contribuții privind modelarea spațială a eroziunii solului:

- utilizând modelul USLE (Universal Soil Loss Equation), teza a oferit o evaluare detaliată a ratei de eroziune în bazinul Crișului Alb, având în vedere factori precum erozivitatea precipitațiilor, erodabilitatea solului, topografia, acoperirea terenului și practicile de conservare. Această modelare spațială a evidențiat zonele cu eroziune ridicată, unde sunt necesare măsuri urgente de intervenție, cum ar fi terasarea și reîmpădurirea. Aceste informaţii spaţializate pot oferi o bază solidă pentru dezvoltarea unor planuri de conservare a solului. Contribuția tezei constă în adaptarea modelului USLE la specificul geomorfologic și climatic al bazinului Crișului Alb.
- ca şi în cazul hărţilor factorilor implicaţi în estimarea susceptibilităţii la inundaţii, hărţile factorilor ecuaţiei USLE pot fi utilizaţi separat, pentru analiza aspectelor legate de relief, sol sau utilizare a terenului, la nivel de bazin;

5. Estimarea impactului eroziunii și inundațiilor asupra claselor de utilizare a terenului:

- studiul a adus o contribuție semnificativă prin evaluarea impactului eroziunii și inundațiilor asupra diferitelor categorii de utilizare a terenului, cum ar fi terenurile arabile, pădurile, zonele rezidențiale și zonele umede. Rezultatele au arătat că terenurile arabile și zonele rezidențiale sunt expuse unui risc moderat de inundații, în timp ce pădurile oferă o protecție naturală împotriva acestor riscuri.
- această analiză se poate constitui ca un instrument important pentru deciziile de management al terenurilor, permițând autorităților implicate să prioritizeze intervențiile în zonele vulnerabile și să implementeze politici eficiente de protecție a mediului;

6. Modelarea hidraulică a scurgerii permanente și scenarii de debit în râul Cigher:

- în teză a fost utilizată modelarea hidraulică unidimensională în HEC-RAS pentru a analiza comportamentul râului Cigher în diferite scenarii de debit, evaluând riscurile de inundații pe un segment de 18,3 km al râului. Cele patru scenarii (S1-S4) au fost dezvoltate pe baza datelor istorice și au inclus debite variind între 8 și 60 m^3/s;
- această abordare a permis prognozarea extinderii inundațiilor și identificarea zonelor vulnerabile, ceea ce susține luarea de decizii informate în privința gestionării apelor și a protecției infrastructurii critice din zonele expuse la inundații.

BUPT

7. Integrarea avansată a tehnicilor GIS și teledetecție cu modele multicriteriale de decizie, cum este Analytic Hierarchy Process (AHP), pentru a evalua susceptibilitatea la inundații și eroziune, o abordare care permite o analiză spațială mai detaliată și personalizată în funcție de specificul local.

8. Utilizarea datelor de înaltă rezoluţie spaţială în modelarea hidraulică, respectiv Modelul Digital de Elevaţie generat din date LiDAR, cu rezoluţia spaţială la 1 m, disponibil gratuit prin programul LAKI al ANCPI. Utilizarea acestui model a oferit o serie de avantaje:

- precizia ridicată a detaliilor topografice; un DEM cu rezoluție de 1 m oferă o reprezentare foarte detaliată a reliefului, permițând o analiză exactă a variațiilor fine ale terenului, esențiale pentru înțelegerea curgerii apei;
- simularea realistă a fluxurilor de apă; o rezoluție mai mare permite modelului hidraulic să capteze cu acuratețe formele și dimensiunile albiei râului, malurilor și zonelor inundabile. Acest lucru duce la o simulare mai precisă a vitezei apei, adâncimii curgerii și comportamentului general al râului, în condiții variate de debit;
- utilizarea DEM-ului cu rezoluţia la 1 m permite validarea prin ridicări topografice de detaliu, în teren; prin acest model s-a oferit o bază solidă pentru calibrarea modelelor hidraulice, reducând erorile și îmbunătățind acuratețea predicțiilor;

9. Utilizarea unor sotfware-uri şi date Open Source, în cadrul cercetărilor. În cadrul cercetărilor s-au utilizat seturi de date geospaţiale open source precum baza de date Corine Land Cover, imagini satelitare Sentinel 2A, date vectoriale şi raster (DEM), prelucrate cu programe precum QGIS, HEC-RAS sau SNAP, încadrate, de asemenea, în categoria open source. Acestea instrumente „libere” oferă o serie de avantaje, atât pentru cercetători, cât şi pentru instituţiile interesate:

- accesibilitate și costuri minime; programele open source sunt, în general, gratuite, ceea ce reduce semnificativ costurile pentru cercetători, instituții academice și de specialitate. Astfel, aceste soluții facilitează accesul la instrumente avansate de analiză și modelare, fără a depinde de licențe costisitoare;
- transparență și verificabilitate; soluțiile open source permit accesul la codul sursă, ceea ce asigură transparența procesului de analiză și modelare. Cercetătorii pot înțelege și verifica exact cum sunt generate rezultatele, ceea ce contribuie la replicabilitatea și validitatea științifică a studiilor;
- flexibilitate și personalizare; programele open source pot fi modificate și adaptate pentru a răspunde nevoilor specifice ale cercetărilor. Utilizatorii pot dezvolta funcții noi sau pot integra soluții personalizate în fluxurile lor de lucru, ceea ce le oferă un control mai mare asupra analizelor efectuate;

10. Realizarea unei documentări teoretice extinse asupra bazinului hidrografic Crișul Alb, care integrează date relevante din literatură, studii climatice, geomorfologice, hidrologice și pedologice, precum și informații despre utilizarea terenurilor și riscurile asociate. Această documentare oferă o sinteză completă și actualizată a cunoștințelor despre această zonă hidrografică. Astfel, documentarea teoretică poate fi un punct de referință pentru cercetări ulterioare și pentru implementarea unor soluții de management integrat al resurselor naturale şi al riscurilor hidrogeomorfologice specifice zonei.

11. O contribuție majoră a cercetării constă în **utilizarea unui set divers și complex de metode și date geospațiale, provenite din surse multiple și în formate variate, care au fost integrate într-un model de analiză spațială**. Aceste date, ce includ informații topografice, climatice, hidrologice și de utilizare a terenurilor, pot fi accesate în mare măsură de instituțiile de profil sau de către

BUPT

cercetători, oferind o resursă valoroasă pentru analiza riscurilor naturale și gestionarea durabilă a resurselor.

Avantajul constă în replicabilitatea fluxurilor de lucru. Modelele de lucru dezvoltate în cadrul acestor cercetări pot fi replicate pentru alte bazine hidrografice sau zone cu condiţii geomorfologice similare sau diferite. Flexibilitatea și adaptabilitatea acestor metode oferă posibilitatea aplicării lor în diverse contexte geografice și pentru diferite tipuri de analize, facilitând transferul de cunoștințe și contribuind la dezvoltarea de soluții personalizate în managementul riscurilor naturale și resurselor naturale.

Cercetarea nu doar că aduce contribuții semnificative la studiul bazinului Crișul Alb, dar oferă și un cadru metodologic robust care poate fi utilizat și îmbunătățit în alte studii geospațiale.

8.3. Recomandări pentru cercetările viitoare

Cercetările realizate în această lucrare deschid noi perspective în analiza geospațială avansată, oferind o bază solidă pentru viitoare studii dedicate evaluării riscurilor de inundații și eroziune în bazine hidrografice.

1. Extinderea aplicării modelului geospațial. Având în vedere flexibilitatea și replicabilitatea modelului de analiză geospațială utilizat în această cercetare, recomandăm aplicarea acestuia în alte bazine hidrografice sau zone geografice similare, pentru a evalua riscurile de inundații și eroziune în condiții diverse. Adaptarea modelului la specificul fiecărei regiuni poate oferi rezultate relevante pentru gestionarea durabilă a resurselor.

2. Integrarea de date geospațiale de rezoluție mai mare. Pentru îmbunătățirea acurateței rezultatelor, se recomandă utilizarea unor seturi de date geospațiale cu rezoluție spațială mai fină, cum ar fi datele LiDAR, care pot oferi o reprezentare mai detaliată a terenului și o mai bună simulare a proceselor hidrologice și geomorfologice.

3. Aplicarea unor analize multicriteriale suplimentare. Pentru a îmbunătăți planificarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare, recomandăm utilizarea unor metode multicriteriale mai avansate, cum ar fi Fuzzy AHP sau ANP (Analytic Network Process), care ar putea oferi o mai bună ponderare a factorilor implicați în evaluarea riscurilor de inundații și eroziune.

4. Monitorizarea continuă a schimbărilor în utilizarea terenului. În vederea realizării unei gestionări durabile a resurselor din bazin, recomandăm utilizarea unor date satelitare actualizate în mod regulat pentru a monitoriza dinamica utilizării terenului și a evalua impactul măsurilor implementate asupra controlului inundaţiilor și eroziunii. Acest proces continuu va permite adaptarea rapidă la schimbările mediului și la condițiile socio-economice.

5. Analiza impactului schimbărilor climatice. Cercetările viitoare ar trebui să includă scenarii mai avansate care să evalueze influența schimbărilor climatice asupra riscurilor de inundații și eroziune. Integrarea proiecțiilor climatice în modelele hidrologice și geomorfologice poate îmbunătăți prognoza riscurilor naturale și poate susține măsurile de adaptare.

6. Dezvoltarea unor soluții de management integrat. Pe baza rezultatelor obținute, recomandăm dezvoltarea și testarea unor soluții de management integrat al resurselor naturale, care să includă măsuri de prevenire și reducere a riscurilor de inundații și eroziune, adaptate la condițiile specifice ale fiecărei regiuni analizate.

BUPT

7. Îmbunătățirea colaborării între instituții. Având în vedere accesibilitatea datelor geospațiale utilizate, cercetările viitoare ar putea beneficia de o colaborare mai strânsă între instituțiile de profil (universități, agenții guvernamentale, organizații non-guvernamentale), pentru a facilita accesul la noi seturi de date și pentru a dezvolta soluții comune la provocările ridicate de riscurile naturale.

8. Aplicarea de tehnologii emergente. Se recomandă explorarea utilizării tehnologiilor emergente, cum ar fi inteligența artificială și învățarea automată, pentru a îmbunătăți analiza și predicția fenomenelor de risc, precum și pentru a optimiza interpretarea datelor geospațiale și teledetecție.

În concluzie, cercetările realizate au oferit o bază solidă pentru înțelegerea dinamicii riscurilor de inundații și eroziune în bazinul Crișul Alb, iar recomandările propuse vor ghida direcțiile viitoare de cercetare și dezvoltarea unor soluții eficiente pentru gestionarea durabilă a resurselor naturale și protecția mediului în contexte similare.

BUPT

BIBLIOGRAFIE

[1] Abdel Aziz T.M Tomlinson. (2009), Water and sediment management for the Blue Nile Basin, In: Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009, Hurghada, Egypt

[2] Abdullah M.F., Siraj S., Hodgett R.E. (2021), An Overview of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Application in Managing Water-Related Disaster Events: Analyzing 20 Years of Literature for Flood and Drought Events, Water, 13, 1358, https://doi.org/10.3390/w13101358

[3] Administraţia Naţională „Apele Române" (ANAR), Legislatie Specifica, https://rowater.ro/informatii-de-interes-public/legislatie-privind-organizarea-si-functionarea-institutiei/legislatie-specifica/ (accesat în septembrie, 2024)

[4] Administraţia Naţională „Apele Române" (ANAR), Departamentul Managementul Lucrărilor Hidrotehnice, https://rowater.ro/activitatea-institutiei/departamente/departamentul-managementului-lucrarilor-hidrotehnice/ (accesat în septembrie, 2024)

[5] Agenţia Naţională de Cadastru şi Publicitate Imobiliară (ANCPI), Proiectul LAKI, https://geoportal.ancpi.ro/portal/apps/webappviewer/index.html?id=2873d5b4707749349f6ad78e5c6b239e (accesat în aprilie, 2024)

[6] Agenţia Naţională de Îmbunătăţiri Funciare (ANIF), Legislaţie românească şi legislaţie europeană, https://www.anif.ro/legislatie/ (accesat în septembrie, 2024)

[7] Ahern M., Kovats R.S., Wilkinson P., Few R., Matthies F. (2005), Global Health Impacts of Floods: Epidemiologic Evidence, Epidemiol. Rev., 27, 36–46, https://doi.org/10.1093/epirev/mxi004

[8] Ahmad M., Al Mehedi M.A., Yazdan M.M.S., Kumar R. (2022), Development of Machine Learning Flood Model Using Artificial Neural Network (ANN) at Var River, Liquids, 2, 147-160, https://doi.org/10.3390/liquids2030010

[9] Ahmadlou M., Al-Fugara A., Al-Shabeeb A.R., Arora A., Al-Adamat R., Pham Q.B., Al-Ansari N., Linh N.T.T., Sajedi H. (2020), Flood susceptibility mapping and assessment using a novel deep learning model combining multilayer perceptron and autoencoder neural networks, J Flood Risk Manag, 14, https://doi.org/10.1111/jfr3.12683

[10] Al Mamun A., Islam A.R.M.T., Alam G.M., Sarker M.N.I., Erdiaw-Kwasie M.O., Bhandari H., Mallick J. (2023), Livelihood vulnerability of char land communities to climate change and natural hazards in Bangladesh: an application of livelihood vulnerability index. Nat Hazards 115(2):1411–1437

[11] Al Shoumik B.A., Khan M.Z., Islam M.S. (2023), Soil erosion estimation by RUSLE model using GIS and remote sensing techniques: A case study of the tertiary hilly regions in Bangladesh from 2017 to 2021. Environ Monit Assess 195, 1096, https://doi.org/10.1007/s10661-023-11699-4

[12] Allafta H., Opp C. (2022), Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model, Remote Sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran). Appl. Sci., 12, 7776, https://doi.org/10.3390/app12157776

[13] Aneesh P.C., Roy M.T. (2024), Hydraulic modeling of the Periyar River using HEC-RAS: unraveling flow dynamics. Water Sci Technol., 89 (10):2676–2684. doi: https://doi.org/10.2166/wst.2024.138

[14] Anni A.H., Cohen S., Praskievicz S. (2020), Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil in-filtration. J Hydrol, 588, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125028

[15] Annis A., Nardi F., Petroselli A., Apollonio C., Arcangeletti E., Tauro F., Belli C., Bianconi R., Grimaldi S. (2020), UAV-DEMs for Small-Scale Flood Hazard Mapping. Water, 12, 1717. https://doi.org/10.3390/w12061717

[16] Antzoulatos G., Kouloglou I.O., Bakratsas M., Moumtzidou A., Gialampoukidis I., Karakostas A., Lombardo F., Fiorin R., Norbiato D., Ferri M., Symeonidis A., Vrochidis S., Kompatsiaris I. (2022), Flood Hazard and Risk Mapping by Applying an Explainable Machine Learning Framework Using Satellite Imagery and GIS Data, Sustainability, 14, 3251, https://doi.org/10.3390/su14063251

[17] Arabameri A., Rezaei K., Cerdà A., Conoscenti C., Kalantari Z. (2019), A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. Sci Total Environ 660:443–458

[18] Araújo J.C., Landwehr T., Alencar P.H.L., Paulino W.D. (2023), Water Management Causes Increment of Reservoir Silting and Reduction of Water Yield in the Semiarid State of Ceará, Brazil, J. S. Am. Earth Sci., 121, 104102

[19] ArcGIS Desktop Documentation, ArcMap (Including ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe), https://desktop.arcgis.com/en/documentation/ (accesat în martie 2022)

[20] Arekhi S., Rostamizad G., Rostami N. (2011), Evaluation of HEC-HMS Methods in Surface Runoff Simulation (Case Study: Kan Watershed, Iran), Adv. Environ. Biol., 5, 1316–1321

[21] Arghius C., Arghius V. (2011), The quantitative estimation of the soil erosion using USLE type ROMSEM model. Case-study – the Codrului Ridge and Piedmont (Romania), Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 6, 59-66

[22] Arheimer B., Lindström G. (2015), Climate impact on floods: Changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100). Hydrol. Earth Syst. Sci. 19, 771–784

[23] Arhiva Administraţiei Bazinale de Apă (ABA) Crişuri, 2023

[24] Armas A., Man E.T., Ienciu A.A., Cuzic O.S., Beilicci R.F. (2016), Drought as climate risk in Timis county, Romania, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Vol. 1, 251

[25] Arnold C.L., Gibbons C.J. (1996), Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. J Am Plan Assoc, 62, 243–258, https://doi.org/10.1080/01944369608975688

[26] Asnake Y., Amare B. (2019), Soil erosion mapping and severity analysis based on RUSLE model and local perception in the Beshillo Catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia. Environ Syst Res 8:17

[27] Asthana B.N., Khare D. (2022), Reservoir Sedimentation, In Recent Advances in Dam Engineering, Asthana B.N., Khare D. (Eds.), Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp. 265–288

[28] Awulachew S.B., McCartney M., Steenhuis T.S., Ahmed A.A. (2009), A review of hydrology, sediment and water resource use in the Blue Nile Basin, Working Paper: 131, International Water Management Institute, Colombo

[29] Bai Y., Cui H. (2021), An improved vegetation cover and management factor for RUSLE model in prediction of soil erosion. Environ Sci Pollut Res 28, 21132–21144, https://doi.org/10.1007/s11356-020-11820-x

[30] Balabathina V.N., Raju R.P., Mulualem W., Tadele G. (2020), Estimation of soil loss using remote sensing and GIS-based universal soil loss equation in northern catchment of Lake Tana Sub-basin, Upper Blue Nile Basin, Northwest Ethiopia. Environ Syst Res., 9, 35, https://doi.org/10.1186/s40068-020-00203-3

BUPT

[31] Bathrellos G.D., Skilodimou H.D., Soukis K., Koskeridou E. (2018), Temporal and Spatial Analysis of Flood Occurrences in the Drainage Basin of Pinios River (Thessaly, Central Greece), Land, 7, 106, https://doi.org/10.3390/land7030106

[32] Baumgertel A., Lukić S., Belanović Simić S., Kadović R. (2019), Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia), Appl. Sci., 9, 5106, https://doi.org/10.3390/app9235106

[33] Baumhardt R.L., Stewart B.A., Sainju U.M. (2015), North American Soil Degradation: Processes, Practices, and Mitigating Strategies, Sustainability, 7, 2936-2960, https://doi.org/10.3390/su7032936

[34] Baze de date climatice, https://rp5.ru/Weather_in_Romania (accesat în iulie, 2024)

[35] BCS, The history of Geographic Information Systems (GIS), https://www.bcs.org/articles-opinion-and-research/the-history-of-geographic-information-systems-gis/ (accesat în septembrie, 2024)

[36] Belgian Earth Observation, SPOT 1, https://eo.belspo.be/en/satellites-and-sensors/spot-1 (accesat în septembrie, 2024)

[37] Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K. (2018), A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 6059–6086, https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018

[38] Bessar M.A., Matte P., Anctil F. (2020), Uncertainty Analysis of a 1D River Hydraulic Model with Adaptive Calibration, Water, 12, 561, https://doi.org/10.3390/w12020561

[39] Bezdan J., Bezdan A., Blagojević B., Antić S., Greksa A., Milić D., Lipovac A. (2024), Impact of Climate Change on Extreme Rainfall Events and Pluvial Flooding Risk in the Vojvodina Region (North Serbia), Atmosphere, 15, 488, https://doi.org/10.3390/atmos15040488

[40] Bisht D.S., Chatterjee C., Kalakoti S., Upadhyay P., Sahoo M., Panda A. (2016), Modeling Urban Floods and Drainage Using SWMM and MIKE URBAN: A Case Study. Nat. Hazards, 84, 749–776

[41] Bita-Nicolae C. (2022), Distribution and Conservation Status of the Mountain Wetlands in the Romanian Carpathians, Sustainability, 14, 16672, https://doi.org/10.3390/su142416672

[42] Blaga G., Filipov F., Udrescu S., Rusu I., Vasile D. (2005), Pedologie, Editura Academic Pres, Cluj-Napoca

[43] Blöschl G., Gaál L., Hall J., Kiss A., Komma J., Nester T., Parajka J., Perdigão R.A.P., Plavcová L., Rogger M., et al. (2015), Increasing river floods: Fiction or reality?, WIREs Water, 2, 329–344

[44] Blöschl G., Hall J., Parajka J., Perdigao R., Merz B., Arheimer B., Aronica G., Bilibashi A., Bonacci O., Borga M., Čanjevac I., Castellarin A., Chirico G.B., Claps P., Fiala K., Frolova N., Gorbachova L., Gül A., Hannaford J., Živković N. (2017), Changing climate shifts timing of European floods, Science, 357, 588-590, https://doi.org/10.1126/science.aan2506

[45] Borrelli P., Panagos P., Montanarella L. (2015), New Insights into the Geography and Modelling of Wind Erosion in the European Agricultural Land. Application of a Spatially Explicit Indicator of Land Susceptibility to Wind Erosion, Sustainability, 7, 8823-8836, https://doi.org/10.3390/su7078823

[46] Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., et al. (2017), An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, Nat. Commun., 8, https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7

BUPT

[47] Borrelli P., Alewell C., Alvarez P., Anache J., Baartman J., Ballabio C., Bezak N., Biddoccu M., Cerdà A., Chalise D., Chen S., Chen W., De Girolamo A., 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, 146494, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494

[48] Bosco C., de Rigo D., Dewitte O., Poesen J., Panagos P. (2015), Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility, Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(2), 225-245

[49] Brakenridge R., Nghiem S., Anderson E., Chien S. (2005), Space-Based Measurement of River Runoff, Eos, Transactions American Geophysical Union, 86, https://doi.org/10.1029/2005EO190001

[50] Bratu I.A. (2022), Imbunatatiri funciare, Editura Universitară, Bucureşti

[51] Bubeck P., Otto A., Weichselgartner J. (2017), Societal impacts of flood hazards, Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science, https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.281

[52] Bufalini M., Materazzi M., Martinello C., Rotigliano E., Pambianchi G., Tromboni M., Paniccià M. (2022), Soil Erosion and Deposition Rate Inside an Artificial Reservoir in Central Italy: Bathymetry versus RUSLE and Morphometry, Land, 11, 1924, https://doi.org/10.3390/land11111924

[53] Bui Q.T., Nguyen Q.H., Nguyen X.L., Pham V.D., Nguyen H.D., Pham V.M. (2020), Verification of novel integrations of swarm intelligence algorithms into deep learning neural network for flood susceptibility mapping, J. Hydrol., 581, 124379

[54] Burshtynska K., Zayats I., Halochkin M., Bakuła K., Babiy L. (2023), The Influence of the Main Factors on the Accuracy of Hydrological Modelling of Flooded Lands, Water, 15, 3303, https://doi.org/10.3390/w15183303

[55] Buschiazzo D., Funk R. (2015), Wind erosion of agricultural soils and the carbon cycle. In Science, Management and Policy for Multiple Benefits; Banwart, S.A., Noellemeyer, E., Milne, E., Eds.; Centre for Agriculture and Biosciences International: Wallingford, UK, 161–168

[56] Busico G., Grilli E., Carvalho S.C.P., Mastrocicco M., Castaldi S. (2023), Assessing Soil Erosion Susceptibility for Past and Future Scenarios in Semiarid Mediterranean Agroecosystems, Sustainability, 15, 12992, https://doi.org/10.3390/su151712992

[57] Cai T., Li X., Ding X., Wang J., Zhan J. (2019), Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique, International Journal of Disaster Risk Reduction, 35

[58] Cai S., Fan J., Yang W. (2021), Flooding Risk Assessment and Analysis Based on GIS and the TFN-AHP Method: A Case Study of Chongqing, China. Atmosphere, 12(5), 623, https://doi.org/10.3390/atmos12050623

[59] Campbell J.B., Wynne R.H. (2011), Introduction to Remote Sensing (5th ed.). Guilford Press

[60] Cardei P. (2010), The dimensional analysis of the USLE - MUSLE soil erosion model, Proceedings of Romanian Academy, Series B. 3. 249-253

[61] Cardei P., Sfiru R., Muraru V. (2020), Intensity of soil erosion in Romania, predictions in time and space, European and indigenous perspectives, E3S Web Conf., 180, 03001, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018003001

[62] Castellarin et. Al. (2009), Probability-weighted hazard maps for comparing different flood risk management strategies: A case study, Nat Hazards50, 479496

[63] Cerneaga C., Dobrica G., Maftei C. (2022), Hydraulic Modeling with HEC-RAS 2D in the Urban Area of Casimcea (Romania) Catchment. In: Chenchouni, H., et al. New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences. CAJG 2019.

BUPT

Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72543-3_105

[64] Chacon-Hurtado J.C., Alfonso L., Solomatine D.P. (2017), Rainfall and Streamflow Sensor Network Design: A Review of Applications, Classification, and a Proposed Framework. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 3071–3091

[65] Chataut R., Phoummalayvane A., Akl R. (2023), Unleashing the Power of IoT: A Comprehensive Review of IoT Applications and Future Prospects in Healthcare, Agriculture, Smart Homes, Smart Cities, and Industry 4.0, Sensors, 23, 7194, https://doi.org/10.3390/s23167194

[66] Chen Y., Li Z., Fang G., Deng H. (2017), Impact of climate change on water resources in the Tianshan Mountains, Cent. Asia, Acta Geogr. Sin., 72, 18–26

[67] Chen Y., Li P., Wang Y., Li J. (2024), Unraveling the Mystery of Water-Induced Loess Disintegration: A Comprehensive Review of Experimental Research, Sustainability, 16, 2463, https://doi.org/10.3390/su16062463

[68] Choudhury M.K., Nayak T. (2003), Estimation of soil erosion in Sagar Lake catchment of Central India. In Proceedings of the International Conference on Water and Environment, Bhopal, India, 387–392

[69] Ciampa F., Seifollahi-Aghmiuni S., Kalantari Z., Ferreira C.S.S. (2021), Flood Mitigation in Mediterranean Coastal Regions: Problems, Solutions, and Stakeholder Involvement, Sustainability, 13, 10474, https://doi.org/10.3390/su131810474

[70] Cojocariu L.L., Copăcean L., Ursu A., Sărăţeanu V., Popescu C.A., Horablaga M.N., Bordean D.M., Horablaga A., Bostan C. (2024), Assessment of the Impact of Population Reduction on Grasslands with a New "Tool": A Case Study on the "Mountainous Banat" Area of Romania, Land, 13, 134, https://doi.org/10.3390/land13020134

[71] Copăcean L., Zisu I., Mazăre V., Cojocariu L. (2019), Analysis of land use changes and their influence on soil features. Case study: Secaș village, Timiș County (Romania), PESD, 13, 2, https://doi.org/10.2478/pesd-2019-0032

[72] Copăcean L., Man E.T., Herban S., Popescu C., Cojocariu L. (2023), Inventory of grassland surfaces in the Crísul Alb hydrographic basin, using GIS techniques, Research Journal of Agricultural Science, 55 (4), 33-42, https://rjas.ro/paper_detail/3814

[73] Copăcean L., Man E.T., Herban S., Ilca M., Cojocariu L. (2023), Analysis of spatial and temporal changes in the land use in the hydrographic basin of the Crisul Alb river, through geomatic techniques, Natural Resources and Sustainable Development Journal, vol. 13, nr. 2, pp. 407 - 416, DOI: 10.31924/nrsd.v13i2.143

[74] Copacean L., Man E.T., Herban S., Popescu C.A., Cojocariu L. (2024), Estimating flood susceptibility based on GIS and remote sensing. Case study: Hydrographic Basin of Crişul Alb river, Present Environment & Sustainable Development, 18(1), 121-140, DOI: https://doi.org/10.47743/pesd2024181009

[75] Copăcean L., Man E.T., Herban S., Cojocariu L., Popescu C. (2024), GIS methods for estimating soil erosion and its impact on the environment. Case study: Crişul Alb hydrographic basin, Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, Vol. XIII

[76] Copernicus Land Monitoring Service, Corine Land Cover (CLC) Database, https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover (accesat în mai, 2023)

[77] Copernicus Open Access Hub, https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home (accesat în martie, 2024)

[78] Costache R., Zaharia L. (2017), Flash-flood potential assessment and mapping by integrating the weights-of-evidence and frequency ratio statistical

BUPT

methods in GIS environment - Case study: Bâsca Chiojdului River catchment (Romania). J Earth Syst Sci, 126, 59, https://doi.org/10.1007/s12040-017-0828-9

[79] Costache R., Tin T.T., Arabameri A., Crăciun A., Ajin R.S., Costache I., Islam A.R.M.T., Abba S.I., Sahana M., Avand M., et al. (2022), Flash-flood hazard using deep learning based on H2O R package and fuzzy-multicriteria decision-making analysis, J. Hydrol., 609, 127747

[80] Course: Apele României (Hidrografia), Râurile interioare, https://naradix.ro/curs/apele-romaniei-hidrografia/24028/ (accesat în mai, 2024)

[81] Cruz K.M.S.D., Ella V.B., Suministrado D.C., Pereira G.S., Agulto E.S. (2022), A Low-Cost Wireless Sensor for Real-Time Monitoring of Water Level in Lowland Rice Field under Alternate Wetting and Drying Irrigation, Water, 14, 4128

[82] Danandeh Mehr A., Akdegirmen O. (2021), Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Flashfloods in Gazipaşa, Turkey. Knowl. Based Eng. Sci., 2, 9–17

[83] Dang A.T.N., Kumar L. (2017), Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: A case study of District 8, Ho Chi Minh City, Vietnam. Geomat. Nat. Hazards Risk., 8, 1792–1811

[84] Das P., Behera M.D., Patidar N., Sahoo B., Tripathi P., Behera P.R., Srivastava S.K., Roy P.S., Thakur P., Agrawal S.P., et al. (2018), Impact of LULC change on the runoff, base flow and evapotranspiration dynamics in eastern Indian river basins during 1985–2005 using variable infiltration capacity approach, J. Earth Syst. Sci., 127, 19

[85] Das J., Bhattacharya S.K. (2023), Monitoring and managing multi-hazards: a Multidisciplinary Approach. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15377-8

[86] De Moel H., Aerts J.C., Koomen E. (2011), Development of flood exposure in the Netherlands during the 20th and 21st century. Global Environmental Change, 21(2), 620-627

[87] Delgado D., Sadaoui M., Ludwig W. et al. (2023), Depth of the pedological profile as a conditioning factor of soil erodibility (RUSLE K-Factor) in Ecuadorian basins. Environ Earth Sci 82, 286, https://doi.org/10.1007/s12665-023-10944-w

[88] Deodhar L.A., Kale V.S. (1999), Downstream adjustments in allochthonous rivers: Western Deccan Trap upland region, India. In Varieties of Fluvial Form; Miller, A.J., Gupta, A., Eds.; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 295–315

[89] Desalegn H., Mulu A. (2021), Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. Heliyon. 6, 10.1016/j.heliyon.2020.e05865

[90] Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (2015), Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland (Schriftenreihe des DKKV), Available online: https://www.dkkv.org/fileadmin/user_upload/Veroeffentlichungen/Publikationen/DKKV_53_Hochwasser_Juni_2013.pdf (accesat în mai, 2022)

[91] De Vente J., Poesen J. (2005), Predicting Soil Erosion and Sediment Yield at the Basin Scale: Scale Issues and Semi-Quantitative Models, Earth-Science Reviews, 71, 95-125, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.02.002

[92] Diakakis M. (2011), A method for flood hazard mapping based on basin morphometry: application in two catchments in Greece. Nat Hazards, 56(3), 803–814. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9592-8

[93] Diaz J.H. (2006), Global Climate Changes, Natural Disasters, and Travel Health Risks. J Travel Med., 13, 361–372. https://doi.org/10.1111/j.1708-8305.2006.00072.x

BUPT

[94] Digital Geography, What is the synthetic aperture in “Synthetic Aperture Radar” (SAR)?, https://digital-geography.com/what-is-the-synthetic-aperture-in-synthetic-aperture-radar-sar/ (accesat în septembrie, 2024)

[95] Diodato N., Bellocchi G. (2007), Estimating monthly R factor USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. J Hydrol 345:224–236

[96] Dodangeh E., Choubin B., Eigdir A.N., Nabipour N., Panahi M., Shamshirband S., Mosavi A. (2020), Integrated machine learning methods with resampling algorithms for flood susceptibility prediction, Sci. Total Environ., 705, 135983

[97] Doocy S., Daniels A., Murray S., Kirsch T.D. (2013), The human impact of floods: A historical review of events 1980–2009 and systematic literature review, PLoS Curr., 5, 23857425

[98] Doswell C.A. (2015), Hydrology, floods and droughts|Flooding. In Encyclopedia of Atmospheric Sciences, 2nd ed.; North, G.R., Pyle, J.A., Zhang, F., Eds.; Academic Press, Cambridge, MA, USA, 201–208

[99] Dottori F., Salamon P., Bianchi A., Alfieri L., Hirpa F., Feyen L. (2015), Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping, Advances In Water Resources, 94, 87-102, JRC93811

[100] Duan G., Leng C., Zhang Z., Zheng C., Wen Z. (2024), Quantitative Study on the Effects of Vegetation and Soil on Runoff and Sediment in the Loess Plateau, Forests, 15, 1341, https://doi.org/10.3390/f15081341

[101] Dube M. (2018), Bihar Floods: A Report on Bihar Floods 2016; Bihar Disaster Management Authority, Government of Bihar: Patna, India; p. 36

[102] Durigon V.L., Carvalho D.F., Antunes M.A.H., Oliveira P.T.S., Fernandes M.M. (2014), NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. Int J Remote Sens 35(2), 441–453

[103] Earth Online, About RADARSAT, https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat (accesat în septembrie, 2024)

[104] Eastman J.R. (2016), TerrSet - Geospatial Monitoring and Modeling System, Manual, Clark University, https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf

[105] EGH, (2021), Bazinele hidrografice ale Romaniei, https://www.egh.ro/index.php/blog/51-bazinele-hidrografice-ale-romaniei (accesat în septembrie, 2024)

[106] Emanuel K. (2017), Assessing the present and future probability of Hurricane Harvey’s rainfall. Proceedings of the National Academy of Sciences. 114. 201716222, 10.1073/pnas.1716222114

[107] EoPortal, Terra (EOS/AM-1), https://www.eoportal.org/satellite-missions/terra#eop-quick-facts-section (accesat în septembrie, 2024)

[108] Epple L., Kaiser A., Schindewolf M., Bienert A., Lenz J., Eltner A. (2022), A Review on the Possibilities and Challenges of Today’s Soil and Soil Surface Assessment Techniques in the Context of Process-Based Soil Erosion Models, Remote Sens., 14, 2468, https://doi.org/10.3390/rs14102468

[109] Eriyagama N., Thilakarathne M., Tharuka P., Munaweera T., Muthuwatta L., Smakhtin V., Premachandra W.W., Pindeniya D., Wijayarathne N.S., Udamulla L. (2017), Actual and perceived causes of flood risk: Climate versus anthropogenic effects in a wet zone catchment in Sri Lanka, Water Int., 42, 874–892, https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1373321

[110] Escobar Villanueva J.R., Iglesias Martínez L., Pérez Montiel J.I. (2019), DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points for Flood Estimations, Sensors, 19, 3205, https://doi.org/10.3390/s19143205

BUPT

[111] ESRI, History of GIS, https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis?srsltid=AfmBOookAtWx6s8pLVVan599gBQ3pEsrvieguKSSAh3fUJ4hYS69wXLX (accesat în septembrie, 2024)

[112] Estifanos A. (2014), Assessment of Micro-Watershed Vulnerability for Soil Erosion in Ribb Watershed using GIS and Remote Sensing. MSc Thesis. Mekelle University, Ethiopia

[113] European Environment Agency - EEA. (2003) The Third Assessment. Environmental Assessment; Report No 10; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark

[114] European Environmental Agency - EEA, (2010), The State of Soil in Europe; European Commission: Brussel, Belgium

[115] European Environment Agency - EEA, (2016), Digital Elevation Model (DEM). Available online: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-eu-dem (accesat în noiembrie, 2016)

[116] Evans D.L., Quinton J.N., Tye A.M., Rodés Á., Davies J.A.C., Mudd S.M., Quine T.A. (2019), Arable soil formation and erosion: A hillslope-based cosmogenic nuclide study in the United Kingdom, SOIL, 5, 253–263

[117] Fathizad H., Karimi H., Alibakhshi S.M. (2014), The estimation of erosion and sediment by using the RUSLE model and RS and GIS techniques (Case study: Arid and semi-arid regions of Doviraj, Ilam province, Iran). Int. J. Agric. Crop Sci, 7

[118] Fernandes F., Malheiro A., Chaminé H.I. (2023), Natural hazards and hydrological risks: climate change-water-sustainable society nexus. SN Appl. Sci. 5, 36, https://doi.org/10.1007/s42452-022-05214-6

[119] Fischer A. (2010), Glaciers and climate change: Interpretation of 50 years of direct mass balance of Hintereisferner. Glob. Planet. Chang., 71, 13–26

[120] Flanagan D.C., Ascough J.C., Nearing M.A., Laflen J.M. (2001), The water erosion prediction project (WEPP) model, Landscape Erosion and Evolution Modeling, 145-199

[121] Foster G.R., Toy T.J., Renard K.G. (2003), Comparison of the USLE, RUSLE1.06c, and RUSLE2 for application to highly disturbed lands. In Proceedings of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds, Benson, AZ, USA, 154–160

[122] Foudi S., Osés-Eraso N., Tamayo I. (2015), Integrated spatial flood risk assessment: the case of Zaragoza. Land Use Policy, 42, 278–292. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.08.002

[123] Frontiers, Hydrological Extremes and Society, https://www.frontiersin.org/research-topics/14499/hydrological-extremes-and-society (accesat în septembrie, 2024)

[124] Fu B.J., Zhao W.W., Chen L.D., Zhang Q.J., Lü Y.H., Gulinck H., Poesen J. (2005), Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China, Land Degrad. Dev., 16, 73–85

[125] Funk R., Reuter H.I. (2006), Wind erosion, In Soil Erosion in Europe, Boardman J., Poesen J., Eds., Wiley, Chichester, UK, pp. 563–582

[126] Gan B.R., Liu X.N., Yang X.G., Wang X.K., Zhou J.W. (2018), The impact of human activities on the occurrence of mountain flood hazards: Lessons from the 17 August 2015 flash flood/debris flow event in Xuyong County, South-Western China, Geomat. Nat. Hazards Risk, 9, 816–840

[127] Ganaie T.A., Jamal S., Ahmad W.S. (2021), Changing land use/land cover patterns and growing human population in Wular catchment of Kashmir Valley, India, GeoJournal, 86, 1589–1606

BUPT

[128] Garner A.J., Samanta D., Weaver M.M., et al. (2024), Changes to tropical cyclone trajectories in Southeast Asia under a warming climate, npj Clim Atmos Sci, 7, 156, https://doi.org/10.1038/s41612-024-00707-0

[129] Gascoin S., Kinnard C., Ponce R., Lhermitte S., Macdonell S., Rabatel A. (2011), Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile, Cryosphere, 5, 1099–1113

[130] Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A., et al. (2009), A compilation of data on European flash floods, J. Hydrol., 367, 70–78

[131] Ge Y., Zhao L., Chen J., Li X., Li H., Wang Z., Ren Y. (2023), Study on Soil Erosion Driving Forces by Using (R)USLE Framework and Machine Learning: A Case Study in Southwest China, Land, 12, 639, https://doi.org/10.3390/land12030639

[132] Gebrehiwot A.A., Hashemi-Beni L. 2021, Three-Dimensional Inundation Mapping Using UAV Image Segmentation and Digital Surface Model. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 10, 144. https://doi.org/10.3390/ijgi10030144

[133] Geospatial. (2021), România: seturi de date vectoriale generale. Available online: http://geo-spatial.org/vechi/download/romania-seturi-vectoriale (accesat în noiembrie, 2021)

[134] Ghosal K., Das Bhattacharya S. (2020), A Review of RUSLE Model, J Indian Soc Remote Sens, 48, 689–707, https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0

[135] Gianinetto M., Aiello M., Vezzoli R., Polinelli F.N., Rulli M.C., Chiarelli D.D., Bocchiola D., Ravazzani G., Soncini A. (2020), Future Scenarios of Soil Erosion in the Alps under Climate Change and Land Cover Transformations Simulated with Automatic Machine Learning, Climate, 8, 28, https://doi.org/10.3390/cli8020028

[136] GIS Geoghaphy, Sentinel Satellites of the Copernicus Programme, https://gisgeography.com/sentinel-satellites-copernicus-programme/ (accesat în septembrie, 2024)

[137] GIS & RS Solution, Flood Susceptibility Mapping using GIS-AHP Multi-criteria Analysis,https://www.youtube.com/watch?v=Lbbyi1YV2Hc&list=RDCMUCs1fLqqz84QbQ89DnRmMEVQ&index=1 (accesat în ianuarie, 2024)

[138] Golosov V., Gusarov A., Litvin L., Yermolaev O., Chizhikova N., Safina G., Kiryukhina Z. (2017), Evaluation of soil erosion rates in the southern half of the Russian Plain: Methodology and initial results, Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci., 375, 23

[139] González-Rosado M., Parras-Alcántara L., Aguilera-Huertas J., Lozano-García B. (2021), Soil Productivity Degradation in a Long-Term Eroded Olive Orchard under Semiarid Mediterranean Conditions, Agronomy, 11, 812

[140] Goodchild M. (2010), Twenty years of progress: GIScience in 2010. Journal of Spatial Information Science. 1. 10.5311/JOSIS.2010.1.2

[141] GOV.RO, Ministerul Agriculturii şi Dezvoltării Rurale (MADR), Legislație îmbunătățiri funciare, https://www.madr.ro/fond-funciar-si-imbunatatiri-funciare/imbunatatiri-funciare.html (accesat în septembrie, 2024)

[142] GOV.RO, Ministerul Agriculturii şi Dezvoltării Rurale (MADR), Programul Național de Dezvoltare Rurală pentru perioada 2014 – 2020, Versiunea 18.1, https://www.madr.ro/docs/dezvoltare-rurala/2024/PNDR-2014-2020-v.18.1.pdf (accesat în septembrie, 2024)

[143] GOV.RO, Ministerul Energiei, Hidrocentrala și Barajul Vidraru: 50 de ani de la inaugurare, https://energie.gov.ro/hidrocentrala-si-barajul-vidraru-50-de-ani-de-la-inaugurare/ (accesat în septembrie, 2024)

[144] Grigg N.S. (2023), Comprehensive Flood Risk Assessment: State of the Practice. Hydrology, 10, 46. https://doi.org/10.3390/hydrology10020046

BUPT

[145] Guo E., Zhang J., Ren X., Zhang Q., Sun Z. (2014), Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China, Natural Hazards, 74, 947-965

[146] 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, J. Environ. Manag., 250, 109403

[147] Haberlandt U., Radtke I. (2014), Hydrological model calibration for derived flood frequency analysis. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 353–365

[148] Hagos Y.G., Andualem T.G., Yibeltal M., et al. (2022), Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia, Appl Water Sci, 12, 148, https://doi.org/10.1007/s13201-022-01674-8

[149] Hall J.W., Sayers P.B., Dawson R.J. (2005), National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. Natural Hazards, 36, 147-164

[150] Halwatura D., Najim M.M. (2013), Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. Environ. Model. Softw., 46, 155–162

[151] Hammami S., Zouhri L., Souissi D., et al. (2019), Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia), Arab J Geosci, 12, 653, https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9

[152] He B., Huang X., Ma M., Chang Q., Tu Y., Li Q., Zhang K., Hong Y. (2017), Analysis of flash flood disaster characteristics in China from 2011 to 2015, Nat Hazards, 90, 407–420, https://doi.org/10.1007/s11069-017-3052-7

[153] HEC-RAS, River Analysis System, HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, Version 6.5, https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_Hydraulic_Reference_Manual_v6.5.pdf

[154] Herban S., Manfreda S., Tmušić G., Maltese A., Brook A. (2023), Protocols for UAS-based observation, în Unmanned Aerial Systems for Monitoring Soil, Vegetation, and Riverine Environments (pp. 37-69), Elsevier

[155] Hermassi T., Kotti M.L., Jarray F. (2023), Soil Erosion in a Changing Environment over 40 Years in the Merguellil Catchment Area of Central Tunisia, Appl. Sci., 13, 11641, https://doi.org/10.3390/app132111641

[156] Hock R., Rees G., Williams M.W., Ramirez E. (2006), Contribution from glaciers and snow cover to runoff from mountains in different climates, Hydrol. Process., 20, 2089–2090

[157] Houghton-Carr H.A., Print C.R., Fry M.J., Gadain H., Muchiri P. (2011), An assessment of the surface water resources of the Juba-Shabelle basin in southern Somalia, Hydrol Sci J, 56(5), 759–774

[158] Huang P.C. (2020), Analysis of Hydrograph Shape Affected by Flow-Direction Assumptions in Rainfall-Runoff Models. Water, 12, 452. https://doi.org/10.3390/w12020452

[159] Huang X., Lin L., Ding S., Tian Z., Zhu X., Wu K., Zhao Y. (2022), Characteristics of Soil Erodibility K Value and Its Influencing Factors in the Changyan Watershed, Southwest Hubei, China, Land, 11, 134

[160] Institutul National de Hidrologie si Gospodarire a Apelor (INHGA), https://www.hidro.ro/ (accesat în septembrie, 2024)

[161] Ionita M., Nagavciuc V., Guan B. (2020), Rivers in the sky, flooding on the ground: The role of atmospheric rivers in inland flooding in central Europe, Hydrol. Earth Syst. Sci., 24, 5125–5147

BUPT

[162] Ionita M., Nagavciuc V. (2021), Extreme Floods in the Eastern Part of Europe: Large-Scale Drivers and Associated Impacts. Water, 13, 1122, https://doi.org/10.3390/w13081122

[163] Jakovljevic G., Govedarica M., Alvarez-Taboada F., Pajic V. (2019), Accuracy Assessment of Deep Learning Based Classification of LiDAR and UAV Points Clouds for DTM Creation and Flood Risk Mapping. Geosciences, 9, 323

[164] Javidan N., Kavian A., Conoscenti C. et al. (2024), Development of risk maps for flood, landslide, and soil erosion using machine learning model. Nat Hazards, https://doi.org/10.1007/s11069-024-06670-6

[165] Jemec Auflič M., Bezak N., Šegina E. et al. (2023), Climate change increases the number of landslides at the juncture of the Alpine, Pannonian and Mediterranean regions. Sci Rep 13, 23085, https://doi.org/10.1038/s41598-023-50314-x

[166] Karamage F., Shao H., Chen X., Ndayisaba F., Nahayo L., Kayiranga A., Omifolaji J.K., Liu T., Zhang C. (2016), Deforestation Effects on Soil Erosion in the Lake Kivu Basin, D.R. Congo-Rwanda, Forests, 7, 281, https://doi.org/10.3390/f7110281

[167] Kastridis A., Stathis D. (2020), Evaluation of Hydrological and Hydraulic Models Applied in Typical Mediterranean Ungauged Watersheds Using Post-Flash-Flood Measurements. Hydrology, 7, 12. https://doi.org/10.3390/hydrology7010012

[168] Katipoğlu O.M., Acar R. (2022), Space-time variations of hydrological drought severities and trends in the semi-arid Euphrates Basin, Turkey. Stoch Environ Res Risk Assess

[169] Khan H., Vasilescu L.G., Khan A. (2008), Disaster management cycle - A theoretical approach, J. Manag. Mark., 6, 43–50

[170] Khanal S., Medasetti U.S., Mashal M., Savage B., Khadka R. (2022), Virtual and Augmented Reality in the Disaster Management Technology: A Literature Review of the Past 11 years, Frontiers in Virtual Reality, 3, 843195, https://doi.org/10.3389/frvir.2022.843195

[171] Khosh Bin Ghomash S., Bachmann D., Caviedes-Voullième D., Hinz C. (2022), Impact of Rainfall Movement on Flash Flood Response: A Synthetic Study of a Semi-Arid Mountainous Catchment, Water, 14, 1844, https://doi.org/10.3390/w14121844

[172] Kim J.B., Saunders P., John T.F. (2005), Rapid assessment of soil erosion in the Rio Lempa Basin, Central America, using the universal soil loss equation and geographic information systems. Environ Manage 36(6), 872–885

[173] Klonner C., Marx S., Usón T., Porto de Albuquerque J., Höfle B. (2016), Volunteered geographic information in natural hazard analysis: A systematic literature review of current approaches with a focus on preparedness and mitigation, Int. J. Geo. Inf., 5, 103

[174] Knapp A.K., Beier C., Briske D.D., Classen A.T., Luo Y., Reichstein M., Smith M.D., Smith S.D., Bell J.E., Fay P.A. (2008), Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems, Bioscience, 58, 811–821

[175] Knebl M., Yang Z., Hutchison K., Maidment D.R. (2005), Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS / HEC-RAS: A case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, J. Environ. Manag., 75, 325–336

[176] Koning N., Smaling E. (2005), Environmental crisis or “lie of the land?” The debate on soil degradation in Africa, Land Use Policy, 22, 3–11

[177] Kopecký M., Macek M., Wild J. (2021), Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition, Sci Total Environ, 757, 143785, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143785

BUPT

[178] Kourgialas N., Karatzas G. (2011), Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas— a case study. Hydrological Sciences Journal, 56(2), 212–225, https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836

[179] Kron W., Eichner J., Kundzewicz Z.V. (2019), Reduction of flood risk in Europe—Reflections from a reinsurance perspective. J. Hydrol., 576, 197–209

[180] Kumar D.N. (2010), Multicriterion Analysis in Engineering and Management; PHI Learning: New Delhi, India

[181] Kumar N., Kumar M., Sherring A., Suryavanshi S., Ahmad A., Lal D. (2020), Applicability of HEC-RAS 2D and GFMS for flood extent mapping: a case study of Sangam area, Prayagraj, India, Modeling Earth Systems and Environment, 6, 1-9, https://doi.org/10.1007/s40808-019-00687-8

[182] Kumar R., Kumar M., Tiwari A., Majid S.I., Bhadwal S., Sahu N., Avtar R. (2023), Assessment and Mapping of Riverine Flood Susceptibility (RFS) in India through Coupled Multicriteria Decision Making Models and Geospatial Techniques, Water, 15, 3918, https://doi.org/10.3390/w15223918

[183] Kundzewicz Z.W., Pińskwar I., Brakenridge G.R. (2014), Large floods in Europe, 1985–2009, Hydrol Sci J, 58(1), 1–7

[184] Kundzewicz Z.W., Krysanova V., Dankers R., Hirabayashi Y., Kanae S., Hattermann F.F., Huang S., Milly P.C.D., Stoffel M., Driessen P.P.J., Matczak P., Quevauviller P., Schellnhuber H.J. (2017), Differences in flood hazard projections in Europe–their causes and consequences for decision making, Hydrological Sciences Journal, 62(1), 1-14, https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1241398

[185] Kundzewicz Z.W., Su B., Wang Y., Wang G., Wang G., Huang J., Jiang T. (2019), Flood risk in a range of spatial perspectives - From global to local scales, Nat Hazards Earth Syst Sci, 19, 1319, https://doi.org/10.5194/nhess-19-1319-2019

[186] Kurtz W., Lapin A., Schilling O.S., Tang Q., Schiller E., Braun T., Hunkeler D., Vereecken H., Sudicky E., Kropf P., et al. (2017), Integrating Hydrological Modelling, Data Assimilation and Cloud Computing for Real-Time Management of Water Resources, Environ. Model. Softw., 93, 418–435

[187] Lacasta A., Morales-Hernández M., Murillo J., García-Navarro P. (2014), An optimized GPU implementation of a 2D free surface simulation model on unstructured meshes, Adv. Eng. Softw., 78, 1–15

[188] Lal R. (1994), Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. Soil Eros. Res. Methods, 2, 1–9

[189] Lama G.F.C., Crimaldi M., Pasquino V., Padulano R., Chirico G.B. (2021), Bulk Drag Predictions of Riparian Arundo Donax Stands through UAV-Acquired Multispectral Images, Water, 13, 1333

[190] Langhammer J. (2023), Flood Simulations Using a Sensor Network and Support Vector Machine Model. Water, 15, 2004, https://doi.org/10.3390/w15112004

[191] Lastoria B., Miserocchi F., Lanciani A., Monacelli G. (2008), An estimated erosion map for the Aterno-Pescara river Basin, Eur. Water, 21/22, 29–39

[192] Lee J., Lee S., Hong J., Lee D., Bae J.H., Yang J.E., Kim J., Lim K.J. (2021), Evaluation of Rainfall Erosivity Factor Estimation Using Machine and Deep Learning Models, Water, 13, 382, https://doi.org/10.3390/w13030382

[193] Lense G.H.E., Lämmle L., Ayer J.E.B., Lama G.F.C., Rubira F.G., Mincato R.L. (2023), Modeling of Soil Loss by Water Erosion and Its Impacts on the Cantareira System, Brazil, Water, 15, 1490, https://doi.org/10.3390/w15081490

[194] Li X., Ma Y., Sun Y., Gong H., Li X. (2013), Flood hazard assessment in Pakistan at grid scale, J. Geo-Inf. Sci., 15, 314–320

[195] Li Z., Fang H. (2016), Impacts of climate change on water erosion: A review. Earth-Sci. Rev., 163, 94–117

BUPT

[196] Li D., Wu B., Zheng X.Q., Liu S.S., Xiao N. (2017), Risk Regionalization of Mountain Torrent Disaster in small watershed of Lvliang Area based on AHP and GIS, Water Resources and Power, 7, 85-88

[197] Li J., Pei Y., Zhao S., Xiao R., Sang X., Zhang C. (2020), A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China, Remote Sens., 12, 1130, https://doi.org/10.3390/rs12071130

[198] Li B., Hou J., Li D. et al. (2021), Application of LiDAR UAV for High-Resolution Flood Modelling. Water Resour Manage 35, 1433, https://doi.org/10.1007/s11269-021-02783-w

[199] Li P., Wu J., Elumalai V. (2024), Recent Advances in Modern Hydrogeology: Promoting Harmony between Nature and Humanity, Water, 16, 1501, https://doi.org/10.3390/w16111501

[200] Lian J., Gong H., Li X., Zhao W., Hu Z. (2009), Design and development of flood/waterlogging disaster risk model based on Arcobjects, J. Geo-Inf. Sci., 11, 376

[201] Ligonja P.J., Shrestha R.P. (2015), Soil erosion assessment in Kondoaeroded area in Tanzania using Universal Soil Loss Equation, geographic information systems and socioeconomic approach. Land Degrad Dev 26, 367–379

[202] Liu B.Y., Nearing M.A., Shi P.J., Jia Z.W. (2000), Slope length effects on soil loss for steep slopes, Soil Sci. Soc. Am. J., 64, 1759–1763

[203] Lobo D., Lozano Z., Delgado F. (2005), Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuelan soil, Catena, 6, 297–306

[204] Long H., Liu Y., Li X., Chen Y. (2010), Building new countryside in China: A geographical perspective, Land Use Policy, 27, 457–470

[205] Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. (2015), Geographic Information Systems and Science (4th ed.), Wiley

[206] Luo Y., Arnold J., Liu S., Wang X., Chen X. (2013), Inclusion of glacier processes for distributed hydrological modeling at basin scale with application to a watershed in Tianshan Mountains, northwest China, J. Hydrol., 477, 72–85

[207] Magdalina I. (1994), Exploatarea si intretinerea lucrărilor de imbunatatiri funciare, Editura Didactică şi Pedagogică, București

[208] Magesh N.S., Chandrasekar N., Soundranayagam J.P. (2012), Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques, Geosci Front, 3(2), 189–196, https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.10.007

[209] Majidi A., Shahedi K. (2012), Simulation of Rainfall-Runoff Process Using Green-Ampt Method and HEC-HMS Model (Case Study: Abnama Watershed, Iran). Int. J. Hydraul. Eng., 1, 5–9

[210] Mallakpour I., Villarini G. (2015), The changing nature of flooding across the central United States. Nature Clim Change 5, 250–254, https://doi.org/10.1038/nclimate2516

[211] Man E.T., Olariu-Casauteanu R., Iosip C., Receanu R. (2008), The role of rural infrastructures in sustainable development evolution, Lucrări Ştiinţifice, Seria I, Vol. X (1), https://www.usab-tm.ro/pdf/2008/x1/dezv_rurala08_21.pdf

[212] Man E.T. (2014), Drenaje, Vol. 1, Editura Orizonturi Universitare, Timişoara

[213] Man E.T. (2014), Drenaje, Vol. 2, Editura Orizonturi Universitare, Timişoara

[214] Man T.E., Armas A., Beilicci R., Beilicci E. (2018), Assessment Regarding the Evolution in Time (1980-2014) of Drought on the Basis of Several Computation Indexes: Study Case Timisoara, Natural Resources and Sustainable Development, 8(1), https://doi.org/10.31924/nrsd.v8i1.001

[215] Mandal D., Patra S., Sharma N.K., Alam N.M., Jana C., Lal R. (2023), Impacts of Soil Erosion on Soil Quality and Agricultural Sustainability in the North-

BUPT

Western Himalayan Region of India, Sustainability, 15, 5430, https://doi.org/10.3390/su15065430

[216] Mao F., Clark J., Buytaert W., Krause S., Hannah D.M. (2018), Water Sensor Network Applications: Time to Move beyond the Technical?, Hydrol. Process., 32, 2612–2615

[217] 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

[218] Maskrey S., Mount A., Nick J., Thorne C.T. (2022), Doing flood risk modelling differently: Evaluating the potential for participatory techniques to broaden flood risk management decision-making, Flood Risk Manag., 15, https://doi.org/10.1111/jfr3.12768

[219] Măgureanu M., Sfircoci M., Copacean L., Cojocariu L. (2023), Flood risk of grasslands in the mountain area of western Romania, Life Science and Sustainable Development, Vol. 4, Issue 1, pp. 111-119, DOI: https://doi.org/10.58509/lssd.v4i1

[220] Mejía-Parada C., Mora-Ruiz V., Vallejo-Borda J.A., et al. (2024), Influence of LS Factor Overestimation Soil Loss on RUSLE Model for Complex Topographies, J Indian Soc Remote Sens, 52, 1661–1674, https://doi.org/10.1007/s12524-024-01900-7

[221] Mengie B., Teshome Y., Dereje T. (2019), Potential soil erosion estimation and area prioritization for better conservation planning in Gumara watershed using RUSLE and GIS techniques, Environ Syst Res, 8, 20

[222] Mengistu D., Bewket W., Lal R. (2015), Soil Erosion Hazard Under the Current and Potential Climate Change Induced Loss of Soil Organic Matter in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia, In: Lal R., Singh B., Mwaseba D., Kraybill D., Hansen D., Eik L. (eds) Sustainable Intensification to Advance Food Security and Enhance Climate Resilience in Africa, Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-09360-4_7

[223] Merchán L., Martínez-Graña A.M., Alonso Rojo P., Criado M. (2023), Water Erosion Risk Analysis in the Arribes del Duero Natural Park (Spain) Using RUSLE and GIS Techniques, Sustainability, 15, 1627, https://doi.org/10.3390/su15021627

[224] Meresa H., Zhang Y., Tian J., et al. (2023), An Integrated Modeling Framework in Projections of Hydrological Extremes, Surv Geophys, 44, 277–322, https://doi.org/10.1007/s10712-022-09737-w

[225] Merz B., Blöschl G., Vorogushyn S., Dottori F., Aerts J.C.J.H., Bates P., Bertola M., Kemter M., Kreibich H., Lall U., Macdonald E. (2021), Causes, impacts and patterns of disastrous river floods, Nat Rev Earth Environ, 2, 592–609, https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3

[226] Meyer V., Becker N., Markantonis V., Schwarze R., Bergh J., Bouwer L., Bubeck P., Ciavola P., Genovese E., Green C., Hallegatte S., Kreibich H., Lequeux Q., Logar I., Papyrakis E., Pfurtscheller C., Poussin J., Przyluski V., Thieken A. (2013), Assessing the costs of natural hazards—state of the art and knowledge gaps, Nat Hazards Earth Syst Sci, 13(5), 1351–1373

[227] Mia M.U., Chowdhury T.N., Chakrabortty R., Pal S.C., Al-Sadoon M.K., Costache R., Islam A.R.M.T. (2023), Flood Susceptibility Modeling Using an Advanced Deep Learning-Based Iterative Classifier Optimizer, Land, 12, 810, https://doi.org/10.3390/land12040810

[228] Minden V., Kleyer M. (2015), Ecosystem multifunctionality of coastal marshes is determined by key plant traits, J. Veg. Sci., 26, 651–662

[229] Ministerul Mediului, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, Legislaţie, https://www.anpm.ro/legislatie?p_p_id=122_INSTANCE_FDjLwcthNLBP&p_p_lifecyc

BUPT

le=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=1&p_r_p_564233524_resetCur=true&p_r_p_564233524_categoryId=2047877 (accesat în septembrie, 2024)

[230] Ministerul Mediului, Apelor şi Pădurilor, Planul de Management al Riscului la Inundaţii, https://www.mmediu.ro/categorie/planul-de-management-al-riscului-la-inundatii/376 (accesat în iulie, 2023)

[231] Mircea S. (2003), Combaterea eroziunii solului – Eroziunea in adancime, Editura BREN, Bucuresti

[232] Mircea S. (2011), Impactul ravenarii asupra mediului in b.h. Slanic/Buzau, Editura BREN, Bucuresti

[233] Mitra R., Das J. (2022), A comparative assessment of flood susceptibility modelling of GIS-based TOPSIS, VIKOR, and EDAS techniques in the sub-Himalayan foothills region of Eastern India, Environ Sci Pollut Res, 30, 16036–16067, https://doi.org/10.1007/s11356-022-23168-5

[234] Montgomery D.R. (2007). Dirt: The Erosion of Civilizations. University of California Press

[235] Moriondo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos C., Corte-Real J. (2006), Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area, Clim. Res., 31, 85–95

[236] Mosavi A., Ozturk P., Chau K.W. (2018), Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review, Water, 10, 1536, https://doi.org/10.3390/w10111536

[237] Nanditha J.S., Kushwaha A.P., Singh R., Malik I., Solanki H., Chuphal D.S., et al. (2023), The Pakistan flood of August 2022: Causes and implications, Earth's Future, 11, e2022EF003230, https://doi.org/10.1029/2022EF003230

[238] NASA, Launch of TIROS 1, World's 1st Weather Satellite — This Week in Goddard History: March 31–April 6, https://www.nasa.gov/history/launch-of-tiros-1-worlds-1st-weather-satellite-this-week-in-goddard-history-march-31-april-6/ (accesat în septembrie, 2024)

[239] NASA Earth Observing System, Landsat 7, https://eospso.nasa.gov/missions/landsat-7 (accesat în septembrie, 2024)

[240] Nearing M., Foster G.R., Lane L.J., Finkner S.C. (1989), A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology, Transactions of the ASAE, 32, https://doi.org/10.13031/2013.31195

[241] Nguyen C.Q., Tran T.T., Nguyen T.T., Nguyen T.H., Astarkhanova T.S., Vu L.V., Dau K.T., Nguyen H.N., Pham G.H., Nguyen D.D., Prakash I., Pham B. (2024), Mapping of soil erosion susceptibility using advanced machine learning models at Nghe An, Vietnam, Journal of Hydroinformatics, 26(1), 72–87, https://doi.org/10.2166/hydro.2023.327

[242] Niacsu L., Ionita I., Samoila C., Grigoras G., Blebea-Apostu A.M. (2021), Land Degradation and Soil Conservation Measures in the Moldavian Plateau, Eastern Romania: A Case Study from the Racova Catchment, Water, 13, 2877, https://doi.org/10.3390/w13202877

[243] Nistor D., Nistor D. (2002), Land Degradation by Erosion and Its Control in Romania, 12th ISCO, Beijing

[244] Nuissl H., Haase D., Lanzendorf M., Wittmer H. (2009), Environmental impact assessment of urban land use transitions—a context-sensitive approach, Land Use Policy, 26(2), 414–424, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.05.006

[245] Nunes M.R., Karlen D.L., Moorman T.B. (2020), Tillage Intensity Effects on Soil Structure Indicators—A US Meta-Analysis, Sustainability, 12, 2071, https://doi.org/10.3390/su12052071

BUPT

[246] Nut N., Mihara M., Jeong J., Ngo B., Sigua G., Prasad P.V.V., Reyes M.R. (2021), Land Use and Land Cover Changes and Its Impact on Soil Erosion in Stung Sangkae Catchment of Cambodia, Sustainability, 13, 9276, https://doi.org/10.3390/su13169276

[247] Okacha A., Salhi A., Arari K., et al. (2023), Soil erosion assessment using the RUSLE model for better planning: a case study from Morocco, Model. Earth Syst. Environ., 9, 3721–3729, https://doi.org/10.1007/s40808-023-01731-4

[248] Oleyiblo J.O., Li Z. (2010), Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Water Sci. Eng., 3, 14–22

[249] Olson K., Suski C. (2021), Mississippi River Delta: Land Subsidence and Coastal Erosion. Open Journal of Soil Science. 11. 139-163. 10.4236/ojss.2021.113008

[250] OpenAI. (2024), Răspuns generat de ChatGPT, disponibil la https://chat.openai.com (accesat în septembrie, 2024)

[251] Osman S.A., Das J. (2023), GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. SN Appl Sci, 5, 134. https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5

[252] Ouyang Z., Zhou C., Xie J., Zhu J., Zhang G., Ao M. (2023), SRTM DEM Correction Using Ensemble Machine Learning Algorithm, Remote Sens., 15, 3946, https://doi.org/10.3390/rs15163946

[253] Pallavi H., Ravikumar A.S. (2021), Analysis of Steady Flow using HEC-RAS and GIS Techniques, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), NCACE – 2020, 9(1)

[254] 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, Environ. Sci. Policy, 54, 438–447

[255] Papaioannou G., Efstratiadis A., Vasiliades L., Loukas A., Papalexiou S.M., Koukouvinos A., Tsoukalas I., Kossieris P. (2018), An operational method for flood directive implementation in ungauged urban areas, Hydrology, 5, 24

[256] Pathan A., Agnihotri P. (2020), Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic flood modeling with special reference through geospatial techniques: A case of river Purna at Navsari, Gujarat, India. Modeling Earth Systems and Environment 7, 1133–1144

[257] Patriche C., Cpân V., Stoica D.L. (2006), Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS, Geographia Technica, 2

[258] Patriche C. (2019), Quantitative assessment of rill and interrill soil erosion in Romania. Soil Use and Management. 35. 257-272. 10.1111/sum.12475

[259] Patriche C. (2023), Applying RUSLE for soil erosion estimation in Romania under current and future climate scenarios. Geoderma Regional. 34. e00687. 10.1016/j.geodrs.2023.e00687

[260] Patrikaki O., Kazakis N., Kougias I., Patsialis T., Theodossiou N., Voudouris K. (2018), Assessing flood hazard at river basin scale with an index-based approach: the case of Mouriki, Greece, Geosciences, 8(2), 50, https://doi.org/10.3390/geosciences8020050

[261] Pelto M.S. (2015), Quantifying Glacier Runoff Contribution to Nooksack River, WA in 2013-15, In Proceedings of the 2015 AGU Fall Meeting Abstracts, San Francisco, CA, USA, 14–18 December 2015

[262] Pena S.B., Abreu M.M., Magalhães M.R., Cortez N. (2020), Water Erosion Aspects of Land Degradation Neutrality to Landscape Planning Tools at National Scale, Geoderma, 363, 114093

BUPT

[263] Pham T.G., Nguyen H.T., Kappas M. (2018), Assessment of soil quality indicators under different agricultural land use and topographic aspects in Central Vietnam, Int Soil Water Conserv Res, 6(4), 280–288

[264] Pham B.T., Jaafari A., Avand M., Al-Ansari N., Dinh Du T., Yen H.P.H., Phong T.V., Nguyen D.H., Le H.V., Mafi-Gholami D., et al. (2020), Performance evaluation of machine learning methods for forest fire modeling and prediction, Symmetry, 12, 1022

[265] Piacentini T., Galli A., Marsala V., Miccadei E. (2018), Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy, Water, 10, 1314, https://doi.org/10.3390/w10101314

[266] Pimentel D., Burgess M. (2013), Soil Erosion Threatens Food Production. Agriculture, 3, 443–463

[267] Pinos J., Quesada-Román A. (2022), Flood Risk-Related Research Trends in Latin America and the Caribbean, Water, 14, 10, https://doi.org/10.3390/w14010010

[268] Pleşa I., Cîmpeanu S. (2001), Îmbunătăţiri Funciare, Editura Cris Book Universal Bucureşti

[269] Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G., Valentin C. (2003), Gully Erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs, CATENA, 50, 91-133, https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-1

[270] Polovina S., Radić B., Ristić R., Milčanović V. (2024), Application of Remote Sensing for Identifying Soil Erosion Processes on a Regional Scale: An Innovative Approach to Enhance the Erosion Potential Model, Remote Sens., 16, 2390, https://doi.org/10.3390/rs16132390

[271] Popa N., Nistor D., Nistor D. (2013), Amenajarea şi exploatarea terenurilor agricole, degradate prin eroziune, Ghid practic, Editura Stef, Iaşi, https://www.cesperieni.ro/wp-content/uploads/Amenajarea-si-exploatarea-terenurilor-agricole-degradate...N.Popa1_.pdf

[272] Popa M.C., Peptenatu D., Drăghici C.C., Diaconu D.C. (2019), Flood Hazard Mapping Using the Flood and Flash-Flood Potential Index in the Buzău River Catchment, Romania, Water, 11, 2116, https://doi.org/10.3390/w11102116

[273] Popescu C., Copăcean L., Herbei M. (2015), Teledetecţie – Fundamente teoretice, Editura Eurostampa, Timişoara

[274] Popescu C., Bărbulescu A. (2023), Floods Simulation on the Vedea River (Romania) Using Hydraulic Modeling and GIS Software: A Case Study, Water, 15, 483, https://doi.org/10.3390/w15030483

[275] Popescu N.C., Bărbulescu A. (2023), Flood Hazard Evaluation Using a Flood Potential Index. Water, 15, 3533. https://doi.org/10.3390/w15203533

[276] Popovici A. (2002), Baraje pentru acumulari de apa, vol.I, Editura Tehnica, Bucureşti

[277] Portal Legislativ, https://legislatie.just.ro/Public/NLEX (accesat în septembrie, 2024)

[278] Posea G., Badea L. (1984), România. Unităţile de relief (Regionarea geomorfologică), Ed. Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti

[279] Price K. (2011), Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. Prog. Phys. Geogr., 35, 465–492

[280] Purohit J., Rout H.S. (2023), Impact of climate change on human health concerning climate-induced natural disaster: Evidence from an eastern Indian state. Clim Chang, 176, 1–22, https://doi.org/10.1007/s10584-023-03578-1

[281] QGIS Documentation, QGIS Desktop User Guide Manual, https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/index.html (accesat în martie, 2023)

BUPT

[282] Quesada-Román A., Ballesteros-Cánovas J.A., Granados-Bolaños S., Birkel C., Stoffel M. (2022), Improving regional flood risk assessment using flood frequency and dendrogeomorphic analyses in mountain catchments impacted by tropical cyclones, Geomorphology, 396, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108000

[283] Rahmati O., Pourghasemi H.R., Zeinivand H. (2015), Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran, Geocarto Int, 31, 42–70, https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559

[284] Rahmati O., Haghizadeh A., Stefanidis S. (2016), Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran, Water Resour Manag, 30(3), 1131–50, https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559

[285] Raj R., Yunus A.P., Pani P., Avtar R. (2022), Towards evaluating gully erosion volume and erosion rates in the Chambal badlands, Central India, Land Degrad Dev, 33, 1495–1510, https://doi.org/10.1002/ldr.4250

[286] Ramiaramanana F.N., Teller J. (2021), Urbanization and Floods in Sub-Saharan Africa: Spatiotemporal Study and Analysis of Vulnerability Factors - Case of Antananarivo Agglomeration (Madagascar), Water, 13, 149, https://doi.org/10.3390/w13020149

[287] Räsänen T.A., Tähtikarhu M., Uusi-Kämppä J., Piirainen S., Turtola E. (2023), Evaluation of RUSLE and spatial assessment of agricultural soil erosion in Finland, Geoderma Regional, 32, e00610

[288] Rehman S., Hasan M.S.U., Rai A.K., Rahaman M.H., Avtar R., Sajjad H. (2022), Integrated approach for spatial flood susceptibility assessment in Bhagirathi sub-basin, India using entropy information theory and geospatial technology, Risk Anal, 42, 2765–2780, https://doi.org/10.1111/risa.13887

[289] 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), USDA Agricultural Handbook, U.S. Department of Agriculture: Washington, DC, USA; No. 703

[290] Revista Agrimedia, https://www.agrimedia.ro/articole/eroziunea-solului (accesat în septembrie, 2024)

[291] Rijal S., Rimal B., Sloan S. (2018), Flood Hazard Mapping of a Rapidly Urbanizing City in the Foothills (Birendranagar, Surkhet) of Nepal, Land, 7, 60

[292] Rimba A.B., Mohan G., Chapagain S.K., Arumansawang A., Payus C., Fukushi K., Husnayaen, Osawa T., Avtar R. (2021), Impact of population growth and land use and land cover (LULC) changes on water quality in tourism-dependent economies using a geographically weighted regression approach, Environ. Sci. Pollut. Res., 28, 25920–25938

[293] Rishmawi K., Prince S.D. (2016), Environmental and Anthropogenic Degradation of Vegetation in the Sahel from 1982 to 2006. Remote Sens., 8, 948. https://doi.org/10.3390/rs8110948

[294] Robert P., Stone P., Don H. (2012). Universal Soil Loss Equation (USLE); Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs: Ontario, ON, Canada. Available online: http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm (accesat în mai, 2024)

[295] Romanescu G., Stoleriu C.C. (2013), Causes and effects of the catastrophic flooding on the Siret River (Romania) in July - August 2008. Natural Hazards, 69, 1351–1367. doi: 10.1007/s11069-012-0525-6

BUPT

[296] Romanescu G., Cimpianu C.I., Mihu-Pintilie A., Stoleriu C.C. (2017), Historic flood events in NE Romania (post-1990), J Maps, 13(2), 787-798, https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1383944

[297] Roo A.D., Barredo J., Lavalle C., Bodis K., Bonk R. (2007), Potential flood hazard and risk mapping at Pan-European scale, In Digital terrain modelling development and applications in a policy support environment, Peckham R.J., Jordan G. (Eds.), Springer-Berlin: Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 183–202

[298] Roşca B., Vasiliniuc I., Topşa G. (2012), Models for Estimating Soil Erosion in the Middle and Lower Vasluieț Basin, Bulletin USAMV. Agriculture, 69, 163-172, https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:8674

[299] Roşca S., Bilasco S., Fodorean I., Vescan I., Petrea D., Păcurar I., Rusu R. (2020), Pedological risks in Romania. Preliminary analysis, Risks and Catastrophes Journal, 20, 33-45, https://doi.org/10.24193/RCJ2020_10

[300] Rusu R. (2007), Organizarea spaţiului geografic în Banat, Editura Mirton, Timişoara

[301] Sahana M., Rehman S., Sajjad H., Hong H. (2020), Exploring effectiveness of frequency ratio and support vector machine models in storm surge flood susceptibility assessment: A study of Sundarban Biosphere Reserve, India, Catena, 189, 104450, https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104450

[302] Said N., Ahmad K., Riegler M., Pogorelov K., Hassan L., Ahmad N., Conci N. (2019), Natural disasters detection in social media and satellite imagery: A survey, Multimed. Tools Appl., 78, 31267–31302, https://doi.org/10.1007/s11042-019-07942-1

[303] Salvati L., Carlucci M., Venanzoni G. (2021), Industrial Vulnerability to Floods: Assessing the Risk and Planning for Resilience, Journal of Environmental Management, 279, 111784

[304] Samanta S., Koloa C., Kumar Pal D., Palsamanta B. (2016), Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi-Criteria Decision Approach (MCDA), Hydrology, 3, 29

[305] Santra P., Moharana P., Kumar M., Soni M.L., Pandey C.B., Chaudhari S.K., Sikka A.K. (2017), Crop production and economic loss due to wind erosion in hot arid ecosystem of India, Aeolian Res., 28, 71–82

[306] Sarauskiene D., Kriauciuniene J., Reihan A., Klavins M. (2015), Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries, J. Environ. Eng. Landsc., 23, 28–38

[307] Sărăţeanu V., Cotuna O., Paraschivu M., Cojocariu L.L., Horablaga N.M., Rechiţean D., Mircov V.D., Sălceanu C., Urlică A.A., Copăcean L. (2023), Features of Natural Succession of Ex-Arable Forest Steppe Grassland (from Western Romania) under the Influence of Climate, Plants, 12, 1204, https://doi.org/10.3390/plants12061204

[308] Schott J.R. (2007), Remote Sensing: The Image Chain Approach (2nd ed.). Oxford University Press

[309] Schumann G., Di Baldassarre G., Bates P. (2009), The Utility of Spaceborne Radar to Render Flood Inundation Maps Based on Multialgorithm Ensembles, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47, 2801–2807, https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2017937

[310] Schumann G., Neal J., Mason D., Bates P. (2011), The accuracy of sequential aerial photography and SAR data for observing urban flood dynamics: A case study of the UK summer 2007 floods, Remote Sensing of Environment, 115, 2536-2546, https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.039

[311] Science Toolbox Exploitation Platform, SNAP Online Documentation, https://step.esa.int/main/doc/online-help/ (accesat în ianuarie, 2024)

BUPT

[312] Seifollahi-Aghmiuni S., Kalantari Z., Egidi G., et al. (2022), Urbanisation-driven land degradation and socioeconomic challenges in peri-urban areas: Insights from Southern Europe, Ambio, 51, 1446–1458, https://doi.org/10.1007/s13280-022-01701-7

[313] Selmy S.A.H., Abd Al-Aziz S.H., Jiménez-Ballesta R., García-Navarro F.J., Fadl M.E. (2021), Modeling and Assessing Potential Soil Erosion Hazards Using USLE and Wind Erosion Models in Integration with GIS Techniques: Dakhla Oasis, Egypt, Agriculture, 11, 1124, https://doi.org/10.3390/agriculture11111124

[314] Senanayake D., Dissanayake B., Mayadunna W. (2016), An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques, Geosci J, 7(1), 115–124, https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.03.002

[315] Sestras P., Mircea S., Rosca S., Bilasco S., Salagean T., Dragomir L., Herbei M., Bruma S., Sabou C., Marković R., Kader S. (2023), GIS based soil erosion assessment using the USLE model for efficient land management: A case study in an area with diverse pedo-geomorphological and bioclimatic characteristics, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 51, https://doi.org/10.15835/nbha51313263

[316] Shahmirnoori A., Saadatpour M., Rasekh A. (2022), Using Mobile and Fixed Sensors for Optimal Monitoring of Water Distribution Network under Dynamic Water Quality Simulations, Sustain. Cities Soc., 82, 103875

[317] Shao Y. (2008), Physics and Modelling of Wind Erosion; Springer: Cologne, Germany

[318] Singh G.P. (2017), Evaluación basada en celdas de cuadrícula del potencial de erosión del suelo para la identificación de áreas críticas propensas a la erosión utilizando USLE, GIS y sensores remotos: Un estudio de caso en la cuenca de Kapgari, India, Investig. Int. Conserv. Suelos Aguas, 5, 202–211

[319] Smarthistory, Honoré Daumier, Nadar Elevating Photography to the Height of an Art, https://smarthistory.org/daumier-nadar-elevating-photography/ (accesat în septembrie, 2024)

[320] Souissi D., Zouhri L., Hammami S., Msaddek M.H., Zghibi A., Dlala M. (2019), GIS-based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia, Geocarto Int, 35, 991–1017, https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405

[321] Souza F.A.A., Samprogna Mohor G., Guzmán Arias D.A., Buarque A.C.S., Taffarello D., Mendiondo E.M. (2022), Droughts in São Paulo: challenges and lessons for a water-adaptive society, Urban Water J., https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2047735

[322] Spalevic V., Barovic G., Vujacic D., Curovic M., Behzadfar M., Djurovic N., Billi P. (2020), The impact of land use changes on soil erosion in the river basin of Miocki Potok, Montenegro, Water, 12(11), 2973, https://doi.org/10.3390/w12112973

[323] SpatialPost, The Remarkable History of GIS: The Evolution, https://www.spatialpost.com/history-of-gis/ (accesat în septembrie, 2024)

[324] Srejić T., Manojlović S., Sibinović M., Bajat B., Novković I., Milošević M.V., Carević I., Todosijević M., Sedlak M.G. (2023), Agricultural Land Use Changes as a Driving Force of Soil Erosion in the Velika Morava River Basin, Serbia, Agriculture, 13, 778, https://doi.org/10.3390/agriculture13040778

[325] Strauss V., Paul C., Dönmez C. et al. (2023), Sustainable soil management measures: a synthesis of stakeholder recommendations. Agron. Sustain. Dev. 43, 17. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00864-7

[326] Su Y., Guo Q., Ma Q., Li W. (2015), SRTM DEM Correction in Vegetated Mountain Areas through the Integration of Spaceborne LiDAR, Airborne LiDAR and

BUPT

Optical Imagery, Remote Sens., 7, 11202-11225, https://doi.org/10.3390/rs70911202

[327] Sugianto S., Deli A., Miswar E., Rusdi M., Irham M. (2022), The Effect of Land Use and Land Cover Changes on Flood Occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya. Land, 11, 1271

[328] Swain K.C., Singha C., Nayak L. (2020), Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. ISPRS Int J Geo-Inf, 9, 720. https://doi.org/10.3390/ijgi9120720

[329] Swick M., Kaspari S. (2017), Partitioning the Contribution of Light Absorbing Aerosols to Snow and Glacier Melt Using a Novel Hyperspectral Microscopy Method. In Proceedings of the 2017 AGU Fall Meeting Abstracts, New Orleans, LA, USA

[330] Şmuleac A., Man E.T., Şmuleac L., Pasc M.A. (2019), Use of 3D terrestrial scanning (TLS) technology in the field of hydrotechnics, Scientific Bulletin of Politehnica University of Timişoara, Transactions on Hydrotechnics, 64(78), 2, 36

[331] Şmuleac A., Şmuleac L., Popescu C.A., Herban S., Man T.E., Imbrea F., Horablaga A., Mihai S., Paşcalău R., Safar T. (2022), Geospatial Technologies Used in the Management of Water Resources in West of Romania, Water, 14, 3729, https://doi.org/10.3390/w14223729

[332] Ştefanescu L., Constantin V., Surd V., Ozunu A., Vlad Ş.N. (2011), Assessment of soil erosion potential by the USLE method in Roşia Montană mining area and associated NATECH events, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. Carpathian journal of earth and environmental sciences. 6. 35 – 42

[333] Tabari H. (2020), Climate Change Impact on Flood and Extreme Precipitation Increases with Water Availability. Sci. Rep., 10, 13768

[334] Talchabhadel R., Nakagawa H., Kawaike K. et al. (2020), Evaluating the rainfall erosivity (R-factor) from daily rainfall data: an application for assessing climate change impact on soil loss in Westrapti River basin, Nepal. Model. Earth Syst. Environ. 6, 1741–1762, https://doi.org/10.1007/s40808-020-00787-w

[335] Tamaş-Avram M., Luca M., Marcoie N. (2022), Fast floods on the Trotuş river in the context of current climate change. PESD, 17(3), 44-45. https://doi.org/10.47743/pesd2022162016

[336] Tanaka T., Yoshioka H., Siev S., Fujii H., Fujihara Y., Hoshikawa K., Ly S., Yoshimura C. (2018), An Integrated Hydrological-Hydraulic Model for Simulating Surface Water Flows of a Shallow Lake Surrounded by Large Floodplains, Water, 10, 1213, https://doi.org/10.3390/w10091213

[337] Tehrany M., Pradhan B., Jebur M. (2014), Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS, Journal of Hydrology, 512, 332–343, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008

[338] Tehrany M.S., Kumar L. (2018), The application of a Dempster–Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods, Environ Earth Sci, 77, 490, https://doi.org/10.1007/s12665-018-7667-0

[339] Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquinta P. (2009), Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy), Geomorphology, 112, 228–245

[340] Thakur P.K. et al. (2022), Role of Geospatial Technology in Hydrological and Hydrodynamic Modeling-With Focus on Floods Studies. In: Pandey, A., Chowdary, V.M., Behera, M.D., Singh, V.P. (eds) Geospatial Technologies for Land and Water Resources Management. Water Science and Technology Library, vol 103. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90479-1_26

BUPT

[341] Thapa P. (2020), Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: a case study of Dolakha district, Nepal. Environ Syst Res 9, 15. https://doi.org/10.1186/s40068-020-00177-2

[342] Tiepolo M. (2014), Flood risk reduction and climate change in large cities south of the Sahara. In Climate Change Vulnerability in Southern African Cities; Springer: Berlin, Germany, 19–36

[343] Torres J., Galicia A., Troncoso A., Martínez-Álvarez F. (2018), A scalable approach based on deep learning for big data time series forecasting, Integr. Comput. Aided Eng., 25, 335–348

[344] Trenberth K.E. (2011), Changes in Precipitation with Climate Change. Clim. Res., 47, 123–138

[345] Tu P., Zhou Q., Qi M. (2023), Soil Erosion Type and Risk Identification from the Perspective of Directed Weighted Complex Network, Sustainability, 15, 1939, https://doi.org/10.3390/su15031939

[346] Tully K., Sullivan C., Weil R., Sanchez P. (2015), The State of Soil Degradation in Sub-Saharan Africa: Baselines, Trajectories, and Solutions, Sustainability, 7, 6523-6552, https://doi.org/10.3390/su7066523

[347] Tyler J., Sadiq A.-A., Noonan D.S. (2019), A review of the community flood risk management literature in the USA: Lessons for improving community resilience to floods, Natural Hazards, 96, 1223–1248

[348] Ushiyama T., Kwak Y., Ledvinka O., Iwami Y., Danhelka J. (2017), Interdisciplinary approach for assessment of continental river flood risk: a case study of the Czech Republic, EGU General Assembly Conference Abstracts, 19, 5737

[349] Ustin S.L. (2013), Manual of Remote Sensing, Volume 4: Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring. Wiley

[350] Uwamahoro S., Liu T., Nzabarinda V., Habumugisha J.M., Habumugisha T., Harerimana B., Bao A. (2021), Modifications to Snow-Melting and Flooding Processes in the Hydrological Model—A Case Study in Issyk-Kul, Kyrgyzstan, Atmosphere, 12, 1580, https://doi.org/10.3390/atmos12121580

[351] Vatandaşlar C., Yavuz M. (2017), Modeling cover management factor of RUSLE using very high-resolution satellite imagery in a semiarid watershed. Environ Earth Sci 76, 65, https://doi.org/10.1007/s12665-017-6388-0

[352] Vegad U., Pokhrel Y., Mishra V., Ghosh A., Kar S.K. (2018), Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) for Flood Risk Assessment: A Case Study in Malda District of West Bengal, India, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 94, 349–368, https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y

[353] VideoUHD, lacul și barajul Bicaz, https://blog.videouhd.ro/barajul-bicaz/ (accesat în septembrie, 2024)

[354] Virto I., Imaz M.J., Fernández-Ugalde O., Gartzia-Bengoetxea N., Enrique A., Bescansa P. (2015), Soil Degradation and Soil Quality in Western Europe: Current Situation and Future Perspectives, Sustainability, 7, 313-365, https://doi.org/10.3390/su7010313

[355] Vîlceanu C.B., Badea A.C., Herban S. (2018), Geostatistical analysis for landslide prediction in Transilvania, Romania. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 543-547

[356] Wang C. (2014), Application of HEC-RAS model in simulation of water surface profile of river. Applied Mechanics and Materials 641–642, 232–235

[357] Wang C., Shang S., Jia D., Han Y., Sauvage S., Sánchez-Pérez J.-M., Kuramochi K., Hatano R. (2018), Integrated Effects of Land Use and Topography on Streamflow Response to Precipitation in an Agriculture-Forest Dominated Northern Watershed, Water, 10, 633, https://doi.org/10.3390/w10050633

BUPT

[358] Wang Y., Fang Z., Hong H., Peng L. (2020), Flood susceptibility mapping using convolutional neural network frameworks, J Hydrol, 582, 124482, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124482

[359] Wang Q., Deng H., Jian J. (2023), Hydrological Processes under Climate Change and Human Activities: Status and Challenges, Water, 15, 4164, https://doi.org/10.3390/w15234164

[360] Wara C., Thomas M., Mwakurya S., Katuva J. (2019), Development of river rating curves for simple to complex hydraulic structure based on calibrated HEC-RAS hydraulic model, in Kwale, Coastal Kenya. Journal of Water Resource and Protection 11, 468–490

[361] Westra S., Fowler H.J., Evans J.P., Alexander L.V., Berg P., Johnson F., Kendon E.J., Lenderink G., Roberts N.M. (2014), Future Changes to the Intensity and Frequency of Short-Duration Extreme Rainfall, Rev. Geophys., 52, 522–555

[362] Willems P. (2013), Revision of urban drainage design rules after assessment of climate change impacts on precipitation extremes at Uccle, Belgium. Journal of Hydrology, 496, 166-177

[363] Wilson J.P. (2018), Environmental Applications of Digital Terrain Modeling; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA

[364] Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978), Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. USDA Agricultural Handbook 537

[365] Wrzesiński D., Sobkowiak L. (2020), Transformation of the flow regime of a large allochthonous river in central Europe - An example of the Vistula River in Poland. Water, 12, 507

[366] Xiong M., Leng G., Tang Q. (2023), Global Analysis of the Cover-Management Factor for Soil Erosion Modeling. Remote Sens., 15, 2868. https://doi.org/10.3390/rs15112868

[367] Xu H., Lu H., Liu S. (2024), Online Street View-Based Approach for Sky View Factor Estimation: A Case Study of Nanjing, China. Appl. Sci., 14, 2133. https://doi.org/10.3390/app14052133

[368] Yale Climate Connections, Eye on the storm, Central Europe staggers toward recovery from catastrophic flooding: more than 200 killed, https://yaleclimateconnections.org/2021/07/central-europe-staggers-toward-recovery-from-catastrophic-flooding-more-than-200-killed/ (accesat în mai, 2024)

[369] Yao Q., Xie J., Guo L., Zhang X., Liu R. (2016), Analysis and evaluation of flash flood disasters: A case of Lingbao County of Henan province in China, Procedia Eng., 154, 835–843

[370] Yin J., Guo S., Liu Z., Yang G., Zhong Y., Liu D. (2018), Uncertainty analysis of bivariate design flood estimation and its impacts on reservoir routing, Water Resources Management, 32, 1795, https://doi.org/10.1007/s11269-018-1904-x

[371] Youssef A., Pradhan B., Hassan A. (2011), Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery, Environmental Earth Sciences, 62(3), 611–623, https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1

[372] Yu M., Yang C., Li Y. (2018), Big Data in Natural Disaster Management: A Review, Geoscience, 8, 165

[373] Zeiger S.J., Hubbart J.A. (2018), Quantifying land use influences on event-based flow frequency, timing, magnitude, and rate of change in an urbanizing watershed of the central USA. Environ. Earth Sci., 77, 107

[374] Zelelew D.G., Melesse A.M. (2018), Applicability of a Spatially Semi-Distributed Hydrological Model for Watershed Scale Runoff Estimation in Northwest Ethiopia. Water, 10, 923. https://doi.org/10.3390/w10070923

BUPT

[375] Zhang H., Yang Q., Li R., Liu Q., Moore D., He P., Ritsema C.J., Geissen V. (2013), Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor, J Comput Geosci, 52, 177–188

[376] Zhao G., Pang B., Xu Z., Wang Z., Shi R. (2016), Assessment on the hazard of flash flood disasters in China, J. Hydraul. Eng., 47, 1133–1142

[377] Zhong M., Jiang T., Li K., Lu Q., Wang J., Zhu J. (2020), Multiple environmental factors analysis of flash flood risk in Upper Hanjiang River, southern China, Environmental Science and Pollution Research, 27, 37218–37228

[378] Zhou Q., Su J., Arnbjerg-Nielsen K., Ren Y., Luo J., Ye Z., Feng J. (2021), A GIS-Based Hydrological Modeling Approach for Rapid Urban Flood Hazard Assessment, Water, 13, 1483, https://doi.org/10.3390/w13111483

[379] Zisu I. (2014), Studiu pedogeografic al Dealurilor Lugojului cu privire specială asupra calităţii terenurilor agricole, Teză de doctorat, Universitatea de Vest Timişoara

BUPT