

Universitatea Babeş-Bolyai din Cluj-Napoca

Facultatea de Geografie

Şcoala Doctorală de Geografie

TEZĂ DE DOCTORAT

**MODELE DE ANALIZĂ SPAȚIALĂ PENTRU CARTOGRAFIEREA
DIGITALĂ A AREALELOR VULNERABILE LA VIITURI RAPIDE ÎN
CADRUL BAZINELOR TORENȚIALE.**

STUDII DE CAZ ÎN GRUPA MONTANĂ OAȘ-GUTÂI-ȚIBLEȘ

- rezumat -

Conducător doctorat:

Prof. univ. dr. Ioan-Aurel IRIMUȘ

Doctorand:

KOCSIS István

CLUJ-NAPOCA

2023

CUPRINS

LISTA FIGURILOR.....	3
LISTA TABELELOR.....	6
1. INTRODUCERE.....	9
1.1. MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI DE CERCETARE.....	11
1.2. OBIECTIVELE CERCETĂRII.....	13
2. ELEMENTELE DE LOCALIZARE GEOGRAFICĂ A AREALULUI DE STUDIU.....	15
3. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL. METODEDE ȘI TEHNICI ACTUALE DE INVESTIGARE.....	24
3.1. STUDIUL PRIVIND ESTIMAREA SPAȚIALĂ A PRECIPITAȚIILOR LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL.....	24
3.1.1. Estimarea precipitațiilor cu radarele meteorologice.....	24
3.1.2. Tipuri de situații sinoptice generatoare de instabilitate.....	28
3.1.2.1. <i>Instabilitatea de convecție termică</i>	28
3.1.2.2. <i>Instabilitatea frontală</i>	30
3.1.3. Metode de interpolare spațială.....	31
3.1.4. Tehnici de combinare a surselor diferite de precipitații.....	33
3.1.5. Analiza frecvenței de producere a viiturilor rapide.....	35
3.2. CARTOGRAFIEREA DIGITALĂ A AREALELOR VULNERABILE LA VIITURILE RAPIDE	37
3.2.1. Evaluarea și cartografierea vulnerabilității la viituri rapide pe baza indicelui FFPI.....	37
3.2.2. Analiza efectelor schimbării utilizării terenurilor asupra scurgerii de suprafață prin metoda SCS-CN.....	38
3.3. CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA VIITURILOR RAPIDE LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL.....	39
3.3.1. Delimitarea bazinelor hidrografice și crearea rețelelor cursurilor de apă.....	40
3.3.2. Metodologia clasică de calcula scurgerii maxime.....	42
3.3.3. Tipuri de modele hidrologice.....	56
4. MODELE DE ANALIZĂ SPAȚIALĂ IMPLEMENTATE PENTRU IDENTIFICAREA PRECIPITAȚIILOR GENERATOARE DE DEBIT MAXIM.....	60
4.1. CONSIDERAȚII GENERALE.....	60
4.2. DETERMINAREA POTENȚIALULUI DE PRECIPITAȚII A FORMAȚIUNILOR NOROASE PE BAZA IMAGINILOR RADAR.....	64

4.2.1. Metodologie și baze de date.....	64
4.2.2. Analiza situațiilor de instabilitate atmosferică.....	66
4.2.3. Rezultate.....	74
4.3. CORECTAREA CANTITĂȚILOR DE PRECIPITAȚII ESTIMATE RADAR PE BAZA MĂSURĂTORILOR ÎN SITU PENTRU SPAȚIALIZAREA PRECIPITAȚIILOR.....	76
4.3.1. Metodologie și baze de date.....	76
4.3.2. Rezultate.....	83
4.4. ANALIZA FRECVENȚEI ȘI INTENSITĂȚII VIITURILOR RAPIDE.....	94
4.4.1. Considerații generale.....	95
4.4.2. Rezultate.....	95
5. MODEL GIS PENTRU CARTOGRAFIEREA DIGITALĂ A AREALELOR VULNERABILE LA VIITURI RAPIDE.....	100
5.1. CONSIDERAȚII GENERALE.....	100
5.2. REALIZAREA HĂRȚII DE SUSCEPTIBILITATE LA INUNDAȚII APLICÂND MODELUL DE ANALIZĂ STATISTICĂ BIVARIATĂ WofE. APLICAȚIE ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC VALEA REA.....	102
5.2.1. Metodologie și baze de date.....	102
5.2.2. Rezultate.....	107
5.3. MODUL DE UTILIZARE A TERENURILOR ȘI IMPORTANȚA LUI ÎN CADRUL MODELELOR PENTRU ESTIMAREA VIITURILOR. APLICAȚIE ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC ȚIBLEȘ-RUNC-SĂLĂUȚA.....	120
5.3.1. Metodologie și baze de date.....	120
5.3.2. Rezultate.....	122
6. VALIDAREA MODELULUI GIS PE BAZA METODEI STUDIULUI DE CAZ.....	127
6.1. CONSIDERAȚII GENERALE.....	127
6.2. STUDIU DE CAZ: VIITURA RAPIDĂ DIN 1 AUGUST 2019 PRODUSĂ ÎN BAZINUL SUPERIOR AL RÂULUI VALEA REA.....	128
6.2.1. Prezentarea generală a bazinului de studiu.....	129
6.2.2. Metodologie.....	137
6.2.3. Rezultate.....	140
7. CONCLUZII.....	147
8. BIBLIOGRAFIE.....	155

CUVINTE CHEIE: viitură rapidă, bazin hidrografic torențial; vulnerabilitate, model GIS, interpolare spațială; radar meteorologic; post pluviometric, stație hidrologică; analiză spațială; analiză statistică bivariată; FFPI; modelare hidrologică; analiză de frecvență.

1. INTRODUCERE

Riscul asociat proceselor hidrologice extreme (viituri rapide, inundații) este prezent tot mai mult în perioada actuală, ținând cont de schimbările climatice globale, de extinderea zonelor populate și de schimbările survenite urmare managementului defectuos al terenurilor. Dintre toate riscurile hidrologice, viiturile de versant reprezintă procesele cu impactul cel mai mare datorită vitezei rapide de manifestare și a locului de geneză, elemente care fac ca prognoza acestora să se elaboreze cu dificultate. Datorită manifestării cu intensitate și frecvență tot mai mare a viiturilor de versant, face ca necesitatea întocmirii studiilor de hazard și vulnerabilitate aferentă acestora să fie tot mai importantă.

Inundațiile în general, reprezintă un hazard natural, care produc pagube însemnate, ale căror efecte pot fi atenuate printr-un management integrat al riscului la inundații. Reducerea efectelor acestor dezastre implică studierea interdisciplinară a hazardelor, vulnerabilității și riscului, respectiv informarea și conștientizarea populației (Universitatea Dimitrie Cantemir, 2013).

Analiza spațială și cartografierea digitală a fenomenelor hidrometeorologice nu pot fi realizate fără mijloace moderne cum ar fi aplicațiile de specialitate, resurse web, instrumente de măsurători în teren și la distanță prin teledetecție, pentru investigarea suprafeței terestre. Dezvoltarea științelor geografice se bazează pe arsenalul de metode și instrumente oferite de tehnologiile GIS (Irimuş et al., 2005), dobândind astfel un rol complex, și indispensabil în prezentarea, și descrierea proceselor hidrologice, precum viiturile de versant.

Prin intermediul acestei lucrări ne propunem dezvoltarea și prezentarea unor modele de analiză spațială bazate pe analiză statistică, și empirică, în vederea indetificării zonelor susceptibile la viituri rapide, prin prezentarea vulnerabilității teritoriale, clasificate în cinci clase, de la vulnerabilitate foarte mică la foarte mare, respectiv evidențierea efectelor pe care intensificarea utilizării terenurilor le au asupra scurgerii de suprafață în bazinele hidrografice studiate.

1.1. MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI DE CERCETARE

De-a lungul profesării ca hidrolog în domeniul gospodăririi apelor din cadrul Administrație i Bazinale de Apă Someș-Tisa, am avut posibilitatea să mă întâlnesc și să mă confrunt cu fenomenele meteorologice periculoase care conduc la apariția și desfășurarea evenimentelor hidrologice cu risc

de producere a inundațiilor, respectiv a viiturilor rapide. Experimentând aceste evenimente și cunoscând deficiențele reale existente în ceea ce privește măsurile de prevenire și protecție împotriva inundațiilor, am identificat necesitatea elaborării unor studii eficiente, menite să vină în sprijinul identificării arealelor vulnerabile la viituri rapide și implicit în managementul situațiilor de urgență.

1.2. OBIECTIVELE CERCETĂRII

După cum reiese din titlu, obiectivul principal al temei de cercetare o reprezintă cartografierea digitală a arealelor vulnerabile la viituri rapide, în cadrul bazinelor hidrografice torențiale din grupa montană Oaș-Gutâi-Țibleș.

În procesul realizării obiectului propus, au fost îndeplinite o serie de obiective complementare prin implementarea mai multor metodologii de analiză spațială, metode de analiză statistică, respectiv modelare hidrologică, cu scopul de a evidenția rolul și importanța gradului de acuratețe a bazelor de date utilizate, atât cele numerice cât și cele spațiale, concretizate și validate prin elaborarea studiilor de caz:

- realizarea unei analize comparative asupra cantităților de precipitații înregistrate la stațiile meteorologice din arealul bazinului hidrografic Someș-Tisa, cu cele observate de radarele meteorologice;
- prezentarea metodologiei GIS de corectare a cantităților de precipitații estimate radar, pe baza măsurătorilor insitu, în vederea spațializării precipitațiilor din zona Munților Țibleș și Rodnei;
- realizarea unei analize statistice în vederea determinării frecvenței și intensității viiturilor rapide din bazinul hidrografic al râului Valea Rea;
- efectuarea unui studiu cu scopul de a analiza influența schimbărilor suferite de covorul vegetal de-a lungul timpului, asupra scurgerii de suprafață;
- realizarea unei metodologii GIS pe baza modelului de analiză statistică bivariată WofE, în vederea realizării hărții de susceptibilitate la inundații, în bazinul hidrografic al râului Valea Rea;

- validarea fizică a rezultatelor obținute cu modelul GIS, pe baza modelării hidrologice a unei viituri rapide produse în bazinul hidrografic superior al râului Valea Rea.

2. ELEMENTELE DE LOCALIZARE GEOGRAFICĂ A AREALULUI DE STUDIU

Arealul de studiu al tezei de doctorat este localizat în Carpații Maramureșului, parte din Grupa Nordică a Carpaților Orientali, fiind delimitat de grupa munților vulcanici Oaș-Gutâi-Țibleș, dezvoltată în perioada manifestărilor vulcanice neogene, respectiv de Munții Rodnei. Pentru studierea viiturilor de versant au fost selectate două bazine hidrografice (b.h.) distincte, dezvoltate pe versantul sudic ai munților menționați, acestea fiind: Bazinul hidrografic Valea Rea și Bazinul hidrografic Țibleș-Runc-Sălăuța (*Figura 1*).

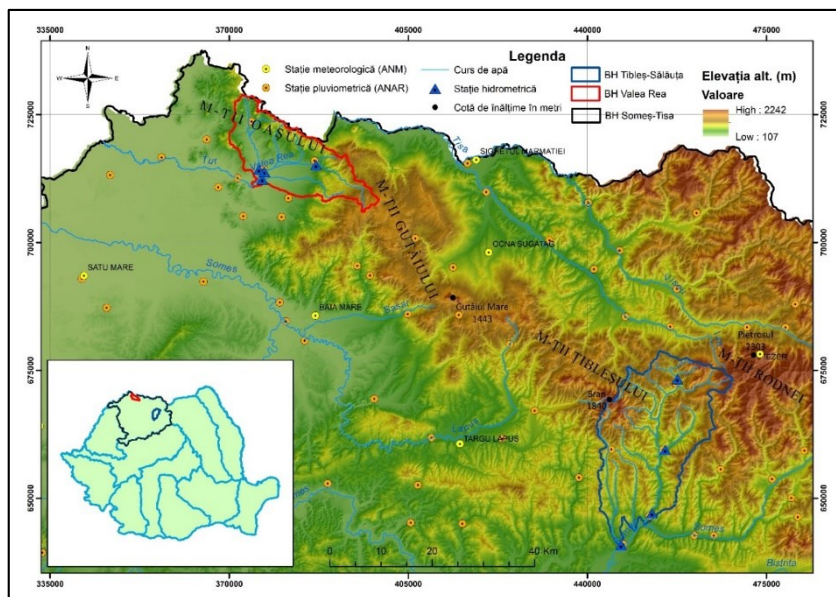


Figura 1. Localizarea geografică a arealului de studiu

La selectarea acestor bazine hidrografice au fost luate în considerație următoarele criterii: suprafața subbazinelor hidrografice să nu fie mai mare de 100 km²; frecvența producerii viiturilor rapide în ultimul deceniu; existența rețelei de monitorizare, a unei stație hidrometrice automate pentru înregistrarea creșterilor de nivel; disponibilitatea datelor hidro-meteorologice și acuratețea acestora; existența unor așezări umane; complexitatea factorilor fizico-geografice, observarea mai multor trepte de relief.

3. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL. METODEDE ȘI TEHNICI ACTUALE DE INVESTIGARE

În acest capitol sunt prezentate metodele și tehnicile GIS folosite atât la nivel național cât și cel internațional pentru calcularea și îmbunătățirea parametrilor ce reprezintă datele de intrare în modelele hidrologice de simulare a viiturilor rapide, metodele de analiză spațială pentru identificarea claselor de vulnerabilitate teritorială, respectiv modelele stochastice specifice reprezentării seriei hidrologice în vederea determinării probabilității de producere a debitelor maxime generatoare de viituri, respectiv pentru determinarea frecvenței și intensității acestora. Așadar au fost prezentate toate aspectele generale legate de metodele și metodologiile de lucru utilizate în achiziția, prelucrarea și analiza datelor cartografice, numerice și geospațiale, respectiv în vederea interpretării rezultatelor obținute în diferite etape de lucru, prin aplicarea directă asupra studiilor de caz, metode și metodologii precum:

- estimarea spațială a precipitațiilor:
 - estimarea precipitațiilor cu radarele meteorologice
 - tipuri de situații sinoptice generatoare de instabilitate
 - metode de interpolare spațială
 - tehnici de combinare a surselor diferite de precipitații
- cartografierea digitală a arealelor vulnerabile la viituri rapide
 - evaluarea și cartografierea vulnerabilității la viituri rapide pe baza indicelui FFPI
 - analiza efectelor schimbării utilizării terenurilor asupra scurgerii de suprafață prin metoda SCS-CN
- modelarea viiturilor rapide și analiza frecvenței de producere a acestora
 - metodologia clasică de calcul a scurgerii maxime
 - tipuri de modele hidrologice

Metodele optime alese în vederea afectuării studiilor de caz, au fost cele care au confirmat și oferit cele mai bune rezultate în numeroasele lucrări studiate, elaborate atât la nivel național cât și cel internațional.

4. MODELE DE ANALIZĂ SPAȚIALĂ IMPLEMENTATE PENTRU IDENTIFICAREA PRECIPITAȚILOR GENERATOARE DE DEBIT MAXIM

Prognozarea precipitațiilor este una dintre cele mai dificile și, în același timp importante activități pentru meteorologie și hidrologie. Deși pluviometrele clasice oferă date precise privind cantitatea de precipitații, interpolarea acestor valori sunt dificile din pricina variabilității spațiale și temporale mari. Pe de altă parte, la modelările hidrologice, în special pentru calcularea debitelor în bazine hidrografice de dimensiuni mici sunt recomandate utilizarea informațiilor de o rezoluție înaltă. Această problemă este parțial rezolvată de radarele meteorologice, care furnizează date de precipitații cu distribuții spațiale și temporale mari.

Teritoriul României este monitorizată în prezent de un sistem compus din șapte radare meteorologice de tip Doppler, administrate de Administrația Națională de Meteorologie (ANM): cinci unități S-band WSR-98D, două C-band EEC-2500C și un Gematronik METEOR 500C.

La cele 7 radare meteorologice operaționale se integrează și radarul hidrometeorologic Ignis METEOR 500C, situat la nord de Baia Mare (Figura 2).

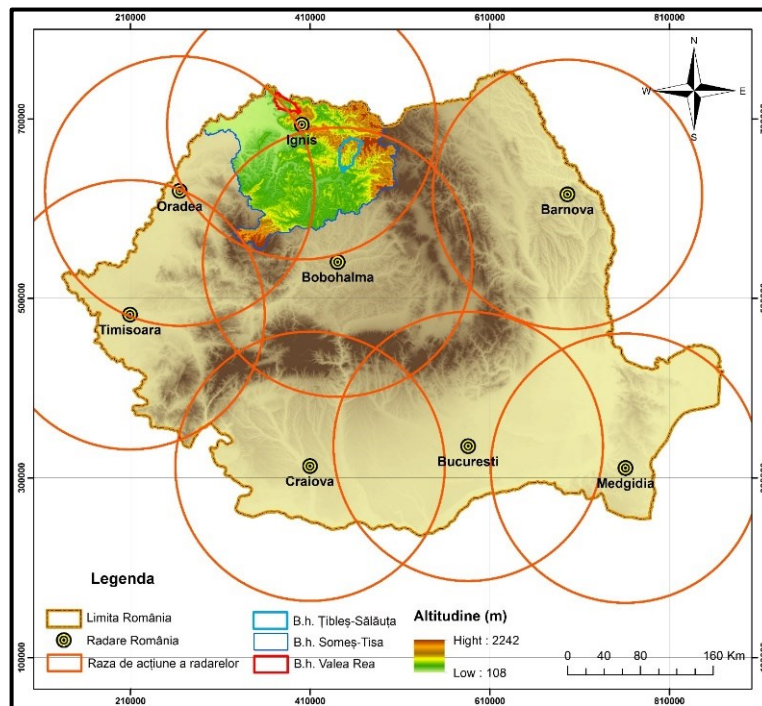


Figura 2. Rețeaua Națională Radar, cu raza de acțiune setată la 150 km

4.1. DETERMINAREA POTENȚIALULUI DE PRECIPITAȚII A FORMAȚIUNILOR NOROASE PE BAZA IMAGINILOR RADAR

Succesul în alegerea metodelor optime de interpolare, respectiv de combinare a surselor de precipitații privind distribuția lor spațială, constă în identificarea și analizarea dezvoltării situațiilor sinoptice. Studiul prezent are în vedere analiza comparativă a cantităților de precipitații estimate de radarele meteorologice WSR-98D Oradea și WSR-98D Bobohalma și cele înregistrate la stațiile meteorologice/posturile pluviometrice în luna august 2020, cu scopul de a identifica factorii care conduc la prezența unor diferențe majore în câmpul de precipitații. Zona de studiu cuprinde nord-vestul României, implicit întregul bazinul hidrografic Someș-Tisa.

4.1.1. Metodologie și baze de date

Pentru elaborarea studiului, au fost folosite date privind cantitatea de precipitații căzută în 24 de ore. Stațiile meteorologice luate în analiză, în număr de 15, sunt situate în condiții diferite de relief. Datele Radar au fost colectate din baza de date a WSR (Doppler Weather Radar S-band), de la radarele Oradea (RDOD), situat în județul Bihor și cel de la Bobohalma (RDBB), situat pe teritoriul județului Mureș.

Pentru efectuarea studiilor de caz s-a procedat la identificarea zilelor cu precipitații pe 24 de ore din luna august 2020. Din cele 31 de zile ale lunii august, s-au evidențiat 14 cazuri cu precipitații, aceste zile fiind următoarele: 4-5, 7-8, 9-11, 15-16, 17-19, 23-25.

Pentru analiza situațiilor sinoptice generatoare de instabilitate, s-a trecut la efectuarea calculului statistic privind tipurile de situații sinoptice generatoare de instabilitate. Această clasificare s-a realizat consultând arhiva <http://www.wetter3.de/Archiv/>, respectiv <http://www.esrl.noaa.gov>, fiind consultate hărțile sinoptice privind distribuția câmpului de geopotential la nivelul de 500 hPa (gpdam), valoarea presiunii atmosferice la suprafață (hPa), precum și distribuția presiunii la suprafață și sistemele frontale asociate.

4.1.2. Rezultate

Situațiile convective și prefrontale au scos în evidență că precipitațiile estimate de radarele WSR-98D Oradea și Bobohalma sunt în corelare cu cantitățile de precipitații înregistrate, dar cu diferențe între areale.

Atât radarul WSR-98D cât și RDBB oferă estimări bune ale precipitațiilor în regiunea Munților Apuseni, pentru partea de vest a județelor Cluj și Sălaj, zone aflate la distanțe aproximativ egale de cele două radare, cuprinse între 50-150 km. În schimb, pentru partea estică, mai îndepărtată a zonei studiate (estul județului Maramureș și nord-estul județului Bistrița-Năsăud), aflate la distanțe de 150-200 km, RDOD subestimează cantitățile de precipitații, mai mult decât atât omite observarea acestora. Dimpotrivă, RDBB are o aproximare mai precisă pentru întreg arealul de studiu, inclusiv pentru zonele mai îndepărtate, situate la distanțe cuprinse între 150-200 km, precum estul județului Satu Mare și județul Maramureș.

4.2. CORECTAREA CANTITĂȚILOR DE PRECIPITAȚII ESTIMATE RADAR PE BAZA MĂSURĂTORILOR ÎN SITU PENTRU SPAȚIALIZAREA PRECIPITAȚIILOR

Scopul acestui studiu a fost de a valida o tehnică de combinare condiționată a două seturi diferite de precipitații, aplicat pe 15 evenimente pluviometrice petrecute pe versantul sudic al Munților Tibleș și Rodnei, în b.h. Tibleș-Runc-Sălăuța. O metodologie GIS, bazată pe instrumente de analiză geostatistică și spațială a fost utilizată pentru a extrage conținutul optim de informații din radarul observat și în vederea analizării și prelucrării acestora (Kocsis et al., 2022).

4.2.1. Metodologie și baze de date

În vederea combinării datelor de precipitații furnizate de radar cu cele măsurate la posturile pluviometrice prin aplicarea tehnicii de fuzionare condiționată (TFC) în zona noastră de studiu, datele colectate au fost prelucrate prin mai multe etape metodologice (*Figura 3*).

Din punct de vedere metodologic demersul cercetării se acsează pe două etape principale, care definesc un model de analiză integrată a componentelor singulare pentru obținerea rezultatelor concretizate în baze de date utile în procesul de modelare a viiturilor rapide. Metodologia propusă presupune realizarea achiziției bazelor de date, care fundamentează modelul de analiză spațială prin intermediul a două tehnici distincte și diferite: achiziție directă (precipitații zilnice de 24 h, măsurate la posturile pluviometrice) și achiziție indirectă pe baza analizei spațiale, fundamentată pe integrarea imaginilor de teledetecție (intensități de precipitație de 24 h).

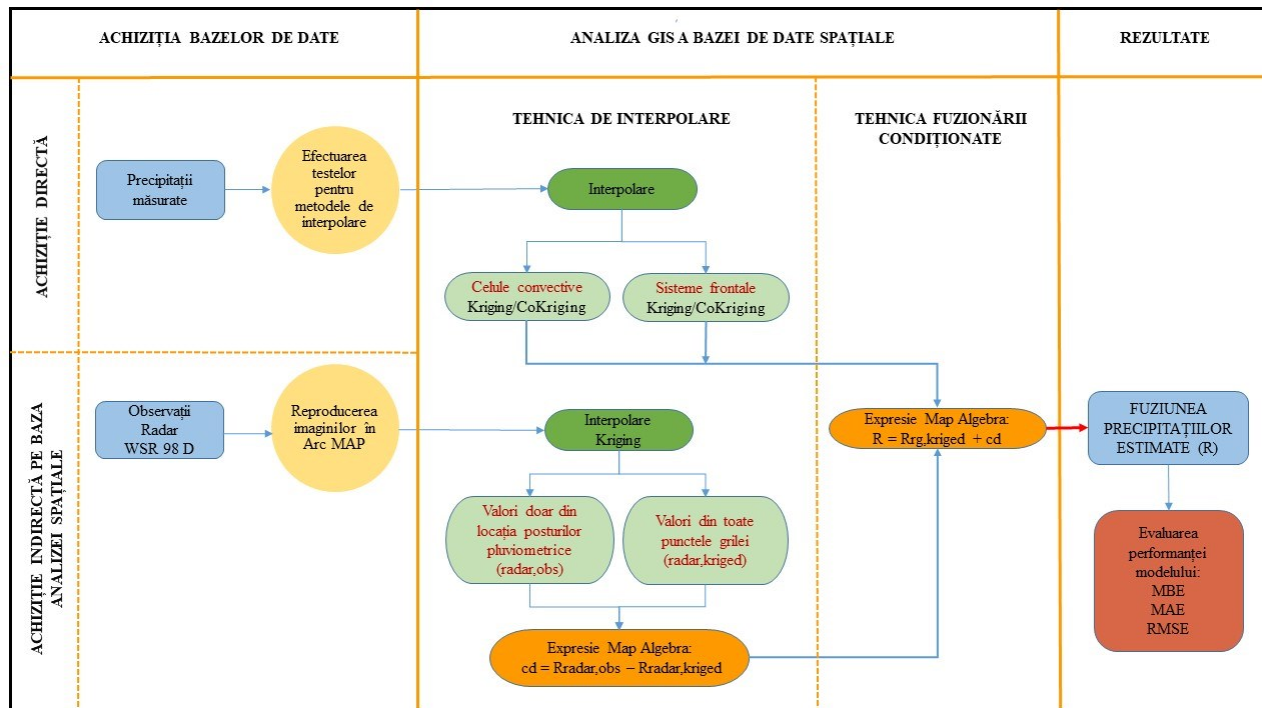


Figura 2. Schema fluxului de lucru metodologic

Achiziția indirectă a bazelor de date din cadrul modelului propus se concretizează într-un submodel de analiză spațială, care se validează prin intermediul bazelor de date achiziționate direct. Pentru confirmarea și validarea a TFC a datelor de precipitații au fost selectate și analizate un număr de 15 evenimente pluviometrice, produse în perioada anilor 2015-2018, din intervalul celei de-a doua jumătăți a lunii mai - prima jumătate a lunii septembrie, în sectorul mijlociu al bazinului hidrografic râu Someșul Mare.

În acest studiu au fost utilizate două seturi principale de date: precipitații zilnice de 24 h, măsurate la 8 posturi pluviometrice din rețeaua de monitorizare a datelor hidrometeorologice administrate de A.N. Apele-Române, A.B.A.S.T. și observații asupra intensităților de precipitații pe 24 h furnizate de radarul Bobohalma WSR98-RDBB.

Etapa de analiză spațială pune în centrul ei tehnica interpolării ca metoda principală de spațializare a informațiilor oferite de bazele de date de intrare, baze de date care fac referire la precipitațiile achiziționate punctual și cele achiziționate prin analiza imaginilor radar. Interpolarea valorilor discrete de precipitații s-a realizat utilizând două metode statistice bazate pe *Kriging* și *CoKriging*, deoarece în procesul de analiză spațială s-au utilizat altitudinile ca bază de variație a precipitațiilor (Kocsis et al., 2022). Familia kriging include mai multe metode de interpolare, dintre care trei au fost folosite în studiul nostru: *kriging simplu*, *ordinary* și *cokriging*.

În consecință, informațiile radar pot fi utilizate pentru a corecta interpolarea datelor pluviometrice. Rezultatul este un câmp de precipitații combinat estimat, care păstrează structura spațială a radarului, fiind condiționată în același timp, folosind date de la posturile pluviometrice (Sinclair and Pegram, 2005).

Etapa de validare a fost efectuată pe baza analizei statistice, folosind trei metrici de validare: eroarea medie de părtinire (MBE), eroarea medie absolută (MAE) și eroarea medie pătrată (RMSE).

4.2.2. Rezultate

Baza de date principală care a fundamentat modelele GIS de analiză spațială propuse este reprezentată de imaginile radar obținute în format analog, imagini care au necesitat o prelucrare de detaliu a informației prezentate, pentru a obține o structură de bază de date cu acuratețe mare în vederea includerii în cadrul metodologiei de cercetare propuse (Figura 4).

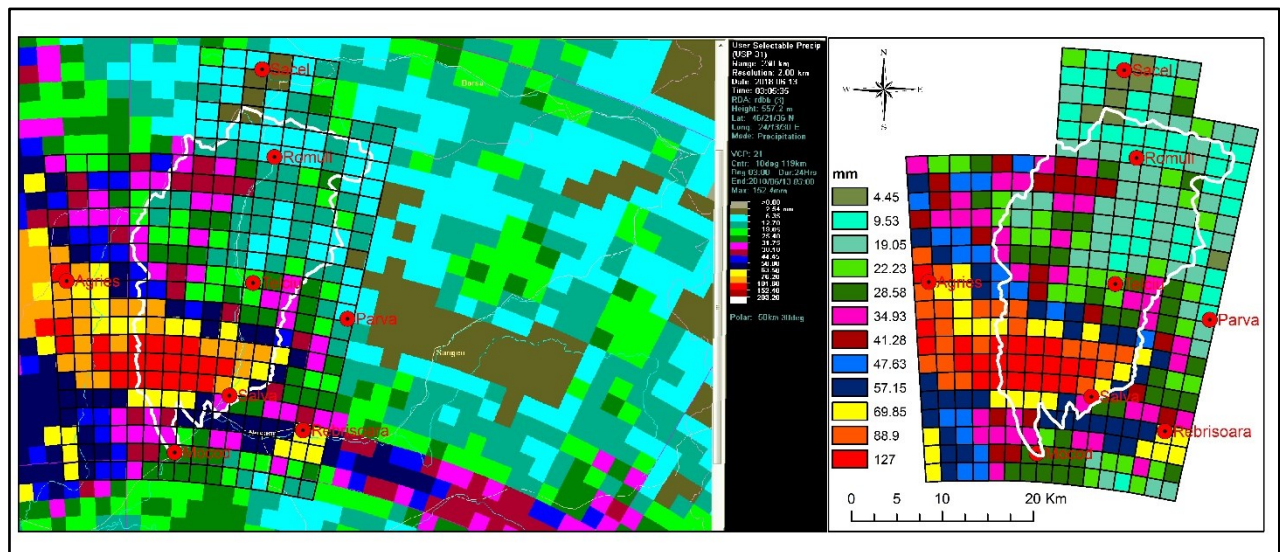


Figura 4. Intensitatea precipitațiilor radar pe 24 de ore (stg.) și reproducerea imaginii radar în ArcMap (drt.), eveniment din data de 13.06.2018

Obținerea bazelor de date în format raster, reprezentând mediile precipitațiilor observate se conturează în rezultate inițiale cu impact major în cadrul modelelor propuse, rezultate obținute pe baza analizei spațiale a structurilor vectoriale și suprapunerea vector-raster. Pentru spațializarea precipitațiilor zilnice pe 24 de ore, atât cele măsurate cât și cele observate de radar, am folosit metode Kriging. Am utilizat tehnicile de kriging simplu, ordinary kriging și cokriging.

Evenimentul din data de 13.06.2018 a fost ales pentru a detalia procesul de fuziune. Precipitațiile cumulate pe 24 de ore după estimările radarului respectiv cantitățile măsurate și interpolate la posturilor pluviometrice sunt prezentate în *Figura 5. a, b*. Comparând cele două imagini, se poate observa rezoluția spațială superioară a datelor derivate din radar, distribuția precipitațiilor fiind mult mai reprezentativă pentru evenimentul studiat. Se observă că zona cu valorile cele mai mari de precipitații acoperă doar parțial locația posturilor pluviometrice, în extremitatea vestică a arealului de studiu. Câmpul radarului prezintă o distribuție a ploii mult mai precisă. În acest caz valorile observate de radar sunt mai mari decât cele măsurate la pluviometre.

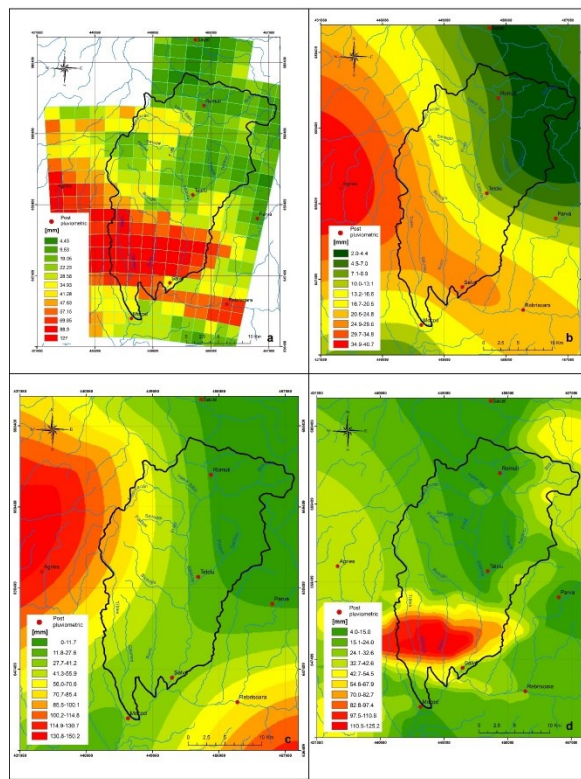


Figura 5. Procesul de fuziune condiționată: (a) Precipitația estimată de radar; (b) Precipitația măsurată de pluviometre și interpolată la rezoluția pixelului de radar; (c) Precipitația estimată de radar în punctele pluviometrelor și interpolată; (d) Câmpul final de precipitații, estimată de tehnica combinării condiționate

Figura 5. c. prezintă câmpul de precipitații estimate de radar și interpolate în locațiile posturilor pluviometrice. Comparând această imagine cu *Fig. 5. b.*, se poate observa aceeași structură, dar, evident, cu valori mai mari. Produsul final obținut prin tehnica de fuzionare este reprezentat în *Figura 5. d.*

Valorile MBE sunt negative la toate cazurile analizate, indicând faptul că modelul de precipitații tinde să supraestimeze precipitațiile în locația posturilor pluviometrice. Cea mai mică valoare de eroare (-2.225 mm) este asociată cu evenimentul din 16.06.2016 (celulă convectivă), ceea ce indică faptul că precipitațiile acestui eveniment sunt cele mai supraestimate de model dintre evenimentele analizate. În concordanță cu valoarea MBE, ambii parametri, MAE (2.225 mm) și RMSE (4.188 mm) indică faptul că modelul este mai puțin precis pentru evenimentul din data de 16.06.2016. De asemenea, pe baza MAE și RMSE scăzute se arată că modelul funcționează cel mai bine în cazul evenimentelor de precipitații din 03.06.2018 și 26.05.2017 (ambele având originea sistemelor frontale).

Produsul final obținut pentru toate cele 15 evenimente pluviale studiate este o hartă cu rezoluție mare a precipitațiilor estimate, care oferă o distribuție spațială reală a precipitațiilor asupra unui bazin analizat (*Figura 6*). Se poate remarca faptul că în cazul unor evenimente pluviale cele mai mari cantități de precipitații s-au descărcat în locația sau în apropierea posturilor pluviometrice.

În cazul evenimentelor pluviale de tipul sistemelor frontale, radarul meteorologic reprezintă dificultăți în ceea ce privește estimarea corectă a valorilor de precipitații în locația posturilor pluviometrice. Deși radarul detectează zone cu o încărcătură semnificativă de precipitații, acesta tinde să supraestimeze ușor valorile față de cantitățile măsurate. Pe de altă parte, în cazul evenimentelor pluviale de tipul celulelor convective, radarul meteorologic tinde să subestimeze ușor valorile în comparație cu precipitațiile măsurate la posturile pluviometrice.

Pe ansamblu, observăm că modelul a funcționat foarte bine pentru 11 din cei 15 evenimente de precipitații (aproximativ 78%), pentru care eroarea MAE este sub 0.4 mm și RMSE sub 0.7 mm. Acuratețea modelului a fost mai mică în cazul a trei evenimente pluviale (20%), și anume cele din 7 iunie 2018, 6 septembrie 2015 și 22 iunie 2017 (celule convective), iar cea mai mică pentru evenimentul din 16 iunie 2016.

Validarea modelului este scoasă în evidență în principal de numărul mare de cazuri raportat la total cazuri analizate, în care modelul a performat foarte bine și în același timp de procentul de validare superior, de aproximativ 78%, procent care încadrează modelul în categoria superioară din punct de vedere a validării procentuale. Modelul prezentat se validează și poate fi aplicat pe suprafețe cu aceleași caracteristici de mediu, în condițiile în care nucleele de precipitații au o precizie și acuratețe spațială mare raportată la suprafața de analiză.

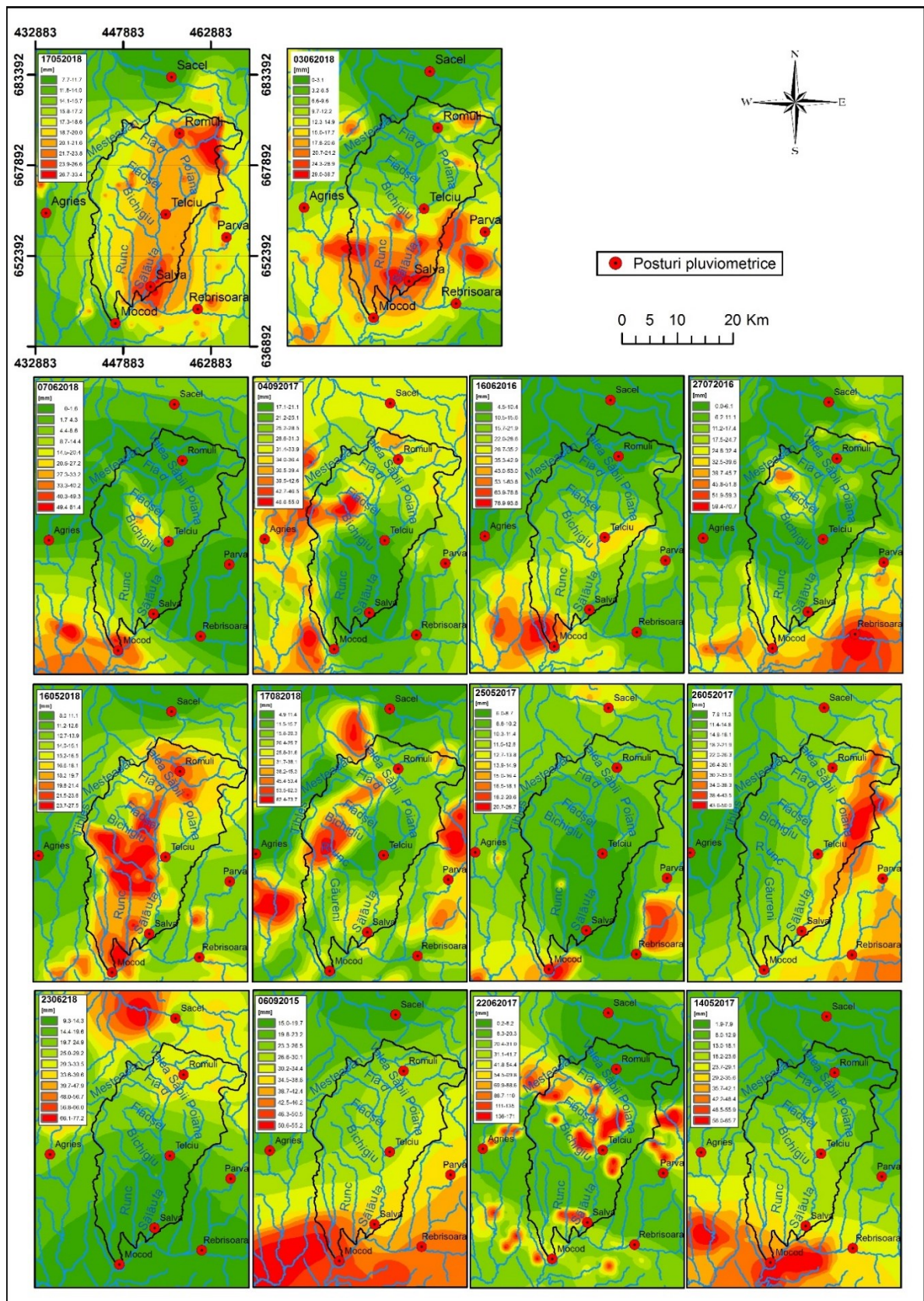


Figura 6. Valori de precipitații finale estimate pentru evenimentele analizate

4.3. ANALIZA FRECVENȚEI ȘI INTENSITĂȚII VIITURILOR RAPIDE

4.3.1. Rezultate

În vederea efectuării analizei de frecvență privind determinarea debitelor maxime probabile, generatoare de viituri rapide, au fost selectate un număr de 48 înregistrări, reprezentând debite maxime de viituri rapide, produse într-o perioadă de 39 de ani, între 1970 – 2008, la s.h. Huta Certeze, din b.h. superior al râului Valea Rea (*Tabel 1*).

Tabel 1. Debite maxime ale viiturile rapide înregistrate la S.H. Huta Certeze

Q mc/s	Data	Q mc/s	Data
89.6	12/05/1970	16.6	29/03/2000
47.2	12/06/1974	22	06/04/2000
48.2	12/12/1979	13	06/02/2001
30.2	21/07/1980	28.4	04/03/2001
33.4	22/07/1980	12.5	18/06/2001
28.8	14/10/1980	4.81	04/07/2001
13.1	10/03/1981	16.5	18/09/2001
26.7	12/03/1981	17.2	14/11/2001
26.7	12/12/1981	13.8	30/12/2001
13.5	02/01/1982	4.1	28/01/2002
18.9	28/06/1982	6.47	01/02/2002
55.9	20/12/1993	18.6	10/02/2002
31.4	19/10/1996	28.6	03/03/2002
18.9	21/12/1996	5.63	26/10/2002
25.2	29/10/1998	10.6	29/12/2002
33.5	30/10/1998	21.1	31/12/2002
23.3	04/11/1998	18.1	25/03/2004
9.15	12/01/1999	12.8	20/04/2005
13.7	07/03/1999	24.8	21/04/2005
5.17	10/03/1999	15	28/04/2005
15.2	12/03/1999	15	09/08/2005
12.5	19/04/1999	36.6	25/08/2005
15.4	09/02/2000	19.5	29/04/2006
15.4	09/03/2000	12.8	13/04/2008

Analiza de frecvență asupra șirului de date privind determinarea debitelor corespunzătoare probabilităților de depășire de 0.1%, 0.5%, 1%, 2%, 5% și 10 % s-a efectuat cu programul

HyfranPlus, fiind conceput pentru a calcula probabilități de depășire și nedepășire a unor evenimente, pe baza analizei statistice a șirurilor lungi de baze de date (Bilașco & Horváth, 2016).

Calculul timpului de retur și analiza de probabilitate a fost efectuată prin selectarea funcției *Pearson type 3* (Figura 7), funcție utilizată cu rezultate bune atât la nivel internațional (Cooper, 2005), cât și pentru teritoriul României (Bilașco, 2009).

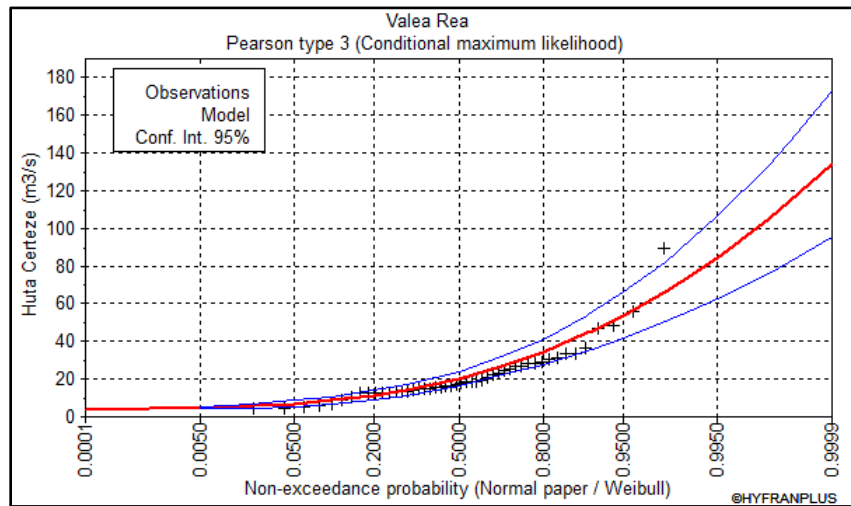


Figura 7. Reprezentare grafică a debitelor de viitură de la s.h. Huta Certeze, cu funcția Pearson Type 3

Pe data de 01 august 2019 la s.h. Huta Certeze, în urma unei ploi convective prefrontale s-au înregistrat 132.5 l/mp, generând o viitură rapidă, cu un debit de vârf de 46.6 mc/s. Astfel, pentru validarea rezultatelor de analiză a frecvenței de producere a viiturilor rapide, am introdus probabilitatea intermediară de 11 ani, reprezentând anii dintre data finală a șirului de date și anul producerii viiturii menționate mai sus. Astfel, rezultatul debitului probabil cu un timp de retur de 11 ani este de 45.8 mc/s, cu o probabilitate de nedepășire de 0.909 care se încadrează în intervalul de încredere, nivel de încredere 95%, în intervalul 36.0 – 55.5 (Tabel 2).

Tabel 1. Rezultatele obținute în urma aplicării funcției de analiză a frecvenței (Peareson Type 3)

Nr. Crt.	Timp (T) ani	Probabilitatea de nedepășire (q)	Valoarea debitului probabil (Q) mc/s	Deviația standard	Interval de încredere 95%
1	1000	0.999	105	14.7	76.2 - 134
2	200	0.995	84.4	11.1	62.5 - 106
3	100	0.990	75.4	9.63	56.5 - 94.3
4	50	0.980	66.3	8.15	50.3 - 82.2
5	20	0.950	54.0	6.21	41.8 - 66.2

6	11	0.909	45.8	4.98	36.0 - 55.5
7	10	0.900	44.4	4.79	35.1 - 53.8

5. MODEL GIS PENTRU CARTOGRAFIEREA DIGITALĂ A AREALELOR VULNERABILE LA VIITURI RAPIDE

Prin utilizarea metodologiilor GIS, care implică integrarea bazelor de date spațiale au fost cartografiate arealele vulnerabile la viiturile rapide, respectiv cu metoda SCS-CN au fost evidențiate efectele pe care intensificarea utilizării terenurilor le au asupra scurgerii de suprafață în bazinele hidrografice studiate.

5.1. REALIZAREA HĂRȚII DE SUSCEPTIBILITATE LA INUNDAȚII APLICÂND MODELUL DE ANALIZĂ STATISTICĂ BIVARIATĂ WofE. APLICAȚIE ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC VALEA REA

În vederea realizării hărții de susceptibilitate la inundații a fost selectat bazinul hidrografic Valea Rea, fiind un areal susceptibil la apariția viiturilor de versant, deoarece este expus circulației vestice, care favorizează dezvoltarea unor astfel de procese. Întreg demersul cercetării este bazat pe o metodologie care implică integrarea bazelor de date spațiale, care imprimă vulnerabilitate teritoriului sub forma unei ecuații medii ponderată, pentru a scoate în evidență impactul major al celui mai relevant factor (Kocsis et al., 2022).

5.1.1. Metodologie și baze de date

Complexitatea mare a modelului de analiză spațială prezentat în cadrul tezei de doctorat presupune abordarea unei metodologii care să permită managementul bazei de date spațiale și alfanumerice, în așa fel încât să se scoată în evidență specificul local și general al fiecărei baze de date, care compune modelul final (Kocsis et al., 2022). Analiza pe componente și integrarea acestora sub formă de ecuații de analiză spațială bazate pe ecuații matematice și medii ponderate

definitivează modelul și permite identificarea spațială a zonelor cu diferite categorii de vulnerabilitate la viiturile rapide.

Metodologia propusă este structurată pe patru etape principale, pornind de la achiziția bazelor de date, realizarea analizei spațiale de detaliu, prezentarea rezultatelor finale și validarea rezultatelor modelului propus pentru aplicarea în practica de specialitate (Figura 8).

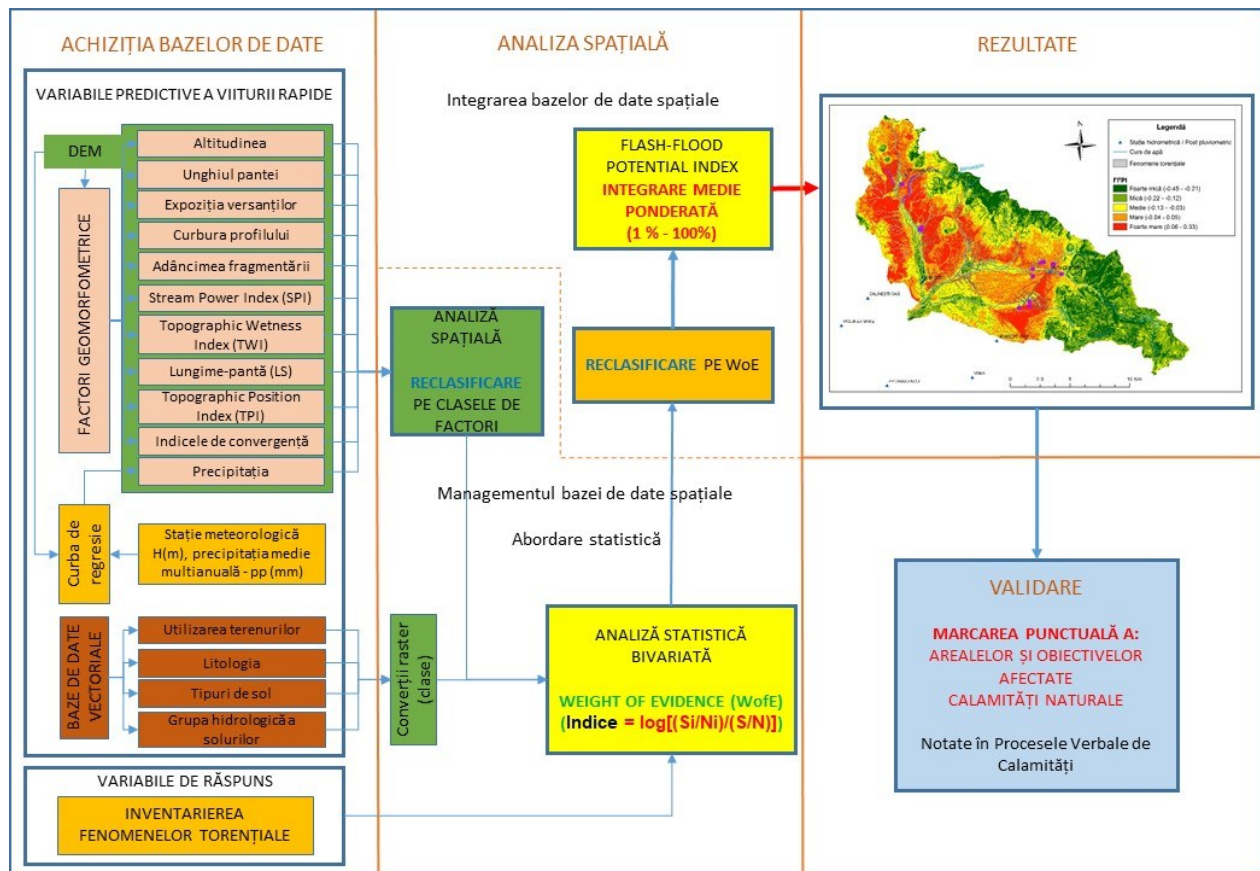


Figura 83. Schema fluxului de lucru metodologic

Complexitatea mare a bazelor de date spațiale care compun modelul propus face ca în cadrul etapei de achiziție a bazei de date să se identifice două subetape distincte concretizate într-o subetapă de analiză spațială, și o subetapă care integrează un submodel distinct de analiză spațială pentru spațializarea precipitațiilor medii multianuale.

Submodelul de analiză spațială propus pentru spațializarea precipitațiilor medii cu altitudinea are la bază analiza spațială statistică, implementată pe baza ecuațiilor de analiză spațială obținută ca

urmare a identificării curbei de regresie și ecuației eccesteia. Astfel pentru întreg arealul de studiu s-a utilizat ecuația (1):

$$Y = a + b \ln(x) \quad (1)$$

unde: $a = -148.377$; $b = 190.707$; $x =$ altitudinea

Ecuația a fost obținută prin implementarea valorilor de precipitații și altitudinale ale unui număr de 9 stații, neuniform distribuite în arealul de studiu și în imediata apropiere a acestuia, prin intermediul softului *Curveexpert*, obținând un coeficient de corelație de 0.980, încadrându-se într-un coeficient de confidență de 95%.

Etapa principală și fundamentală pentru definitivarea modelului propus pentru identificarea arealelor vulnerabile o reprezintă etapa de analiza spațială. Derularea etapei principale de analiză spațială se bazează pe implementarea a două submodele de analiză spațială, diferite ca mod de implementare, dezvoltate pe baza ecuațiilor de analiză spațială, derivate din ecuații diferite ca mod de structurare, un model bazat pe ecuație statistică bivariată și un model bazat pe ecuație deterministă de integrare a bazelor de date spațiale rezultate în urma implementării primului model.

Modelul bazat pe analiza statistică care are în centrul lui ecuația bivariată *WofE* (2), permite analiza pe componentele de bază ale modelului, pentru identificarea comportării fiecărui factor luat în analiză, în ceea ce privește răspunsul statistic la producerea viiturii rapide.

$$(Indice = \log[(S_i/N_i)/(S/N)]) \quad (2)$$

unde:

- Indice = valoarea statistică a intervalului din cadrul factorului analizat
- S_i = suprafața (kmp) cu torenți pe un interval a factorului analizat
- N_i = Suprafața totală ocupat de factorul analizat
- S = Suprafața totală cu torenți de pe întreg teritoriul analizat

Definitivarea submodelului de analiză spațială implică mai multe subetape principale care sunt strâns corelate între ele și converg spre obținerea de baze de date numerice, care integrate în formula statistică vor scoate în evidență comportamentul statistic a fiecărui interval a factorului analizat.

O etapă principală reprezintă uniformizarea tipurilor bazelor de date care intră în modelul de analiză spațială. Rezoluția bazelor de date raster obținute ca urmare a conversiei este de 3 m, rezoluție egală cu cea a bazelor de date spațiale derivate din DEM.

A doua etapă din cadrul submodelului o reprezintă integrarea spațială a factorilor analizați cu extensiunea suprafețelor ocupate de torenți, pentru a extrage valori numerice de suprafață, valori numerice care vor fi introduse în ecuația statistică de calcul. Această etapă are în centrul ei analiza "overlay" vector-raster, integrând pedeparte bazele de date vector reprezentând extensiunea spațială a torenților, iar de pe altă parte bazele de date raster reprezentând fiecare factor clasificat în funcție de susceptibilitatea lui la viituri rapide.

Cel de-al doilea submodel principal al etapei de analiză spațială își propune integrarea pe baza ecuației de analiză spațială determinată de tip medie ponderată a tuturor factorilor analizați unitar în cadrul submodelului statistic bazat pe ecuația *WofE*.

Integrarea celor două submodele din cadrul etapei de analiză spațială se face pe baza metodei reclasificării, care are ca scop principal obținerea bazelor de date digitale în format raster, care să evidențieze spațial valorile numerice ale fiecărui factor și gradul de susceptibilitate al acestuia la viituri rapide, și să permită integrarea lor pe baza ecuației deterministe. Ecuația determinată (3) a fost implementat în mediul GIS, de forma:

$$\begin{aligned}
 & ("BSA_SPI.tif" * 2) + ("BSA_LS.tif" * 8) + ("BSA_PP.tif" * 7) + ("BSA_DepFrag_ha.tif" * 8) + \\
 & ("BSA_TPIndex3.tif" * 5) + ("BSA_DEM.tif" * 2) + ("BSA_Convergente_Index.tif" * 7) + \\
 & ("BSA_Profile_curv.tif" * 8) + ("BSA_Aspect.tif" * 3) + ("BSA_Slope.tif" * 15) + \\
 & ("BSA_HSG_cor.tif" * 10) + ("BSA_Lithology_cor.tif" * 2) + ("BSA_CLC.tif" * 10) + \\
 & ("BSA_SOL_Tip.tif" * 5) + ("BSA_TWI.tif" * 8)/15 \tag{3}
 \end{aligned}$$

unde:

- "BSA_SPI.tif"...= factor luat în analiză
- 2...= procent de ponderare a factorului
- +,/,* = identificatori matematici

Ponderea specifică a fiecărui factor a fost stabilită în funcție de importanța și influența factorului în cadrul procesului general de geneză și propagare a viiturilor rapide.

5.1.2. Rezultate

Specificitatea teritoriului din punct de vedere al FFPI este dată de analiza integrată, pe baze statistice, a unui număr de 15 factori, care scot în evidență cel mai bine manifestarea teritorială a procesului analizat (Tabel 3, 4; Figura 9, 10, 11, 12).

Tabel 3. Clasele variabilelor predictoare de viituri rapide, cu rezultatele lor de WofE (Kocsis et al., 2022)

Variabile Predictoare	Clase	Pp (%)	Pt (%)	WofE	WAI (%)
Altitudinea	145 - 300	42.6	82.3	0.29	2
	300 - 450	24.5	15.2	-0.21	
	450 - 650	17.9	2.4	-0.87	
	650 - 850	10.2	0.2	-1.80	
	850 - 1239	4.7	0.0	-	
Unghiul pantei	0-3	22.0	17.2	-0.11	15
	3.1-7	19.8	34.1	0.24	
	7.1-15	32.6	35.6	0.04	
	15.1-25	17.1	10.5	-0.21	
	> 25	8.5	2.6	-0.51	
Expoziția versanților	Plan/Sud-vest	17.0	9.4	-0.26	3
	Sud	13.0	10.7	-0.09	
	Sud-est/Vest	28.7	26.4	-0.04	
	Est/Nord-vest	24.1	24.3	0.00	
	Nord/Nord-est	17.3	29.3	0.23	
Curbura profilului	Convex-209 - 0	50.6	33.9	-0.17	8
	Plan 0 - 1.92	47.2	55.6	0.07	
	Concav 1.92 - 199	2.2	10.5	0.69	
Adâncimea fragmentării	0-2	27.5	22.0	-0.10	8
	2-4	35.1	52.7	0.18	
	4-8	20.3	17.9	-0.05	
	8-16	11.8	6.4	-0.26	
	16-110	5.3	1.0	-0.73	
SPI	(-13.8) - (-11.3)	5.6	4.4	-0.10	2
	(-11.2) - (-4.33)	22.0	17.0	-0.11	
	(-4.32) - (-2.55)	39.3	38.5	-0.01	
	-2.54 - 0.52	31.1	31.4	0.00	
	0.53 - 11.4	2.1	8.7	0.62	
TWI	0-2.49	6.6	4.7	-0.14	8
	2.50-6.04	25.8	19.5	-0.12	
	6.05-8.06	44.1	40.5	-0.04	
	8.07-11.6	21.3	26.7	0.10	
	11.7-30.2	2.2	8.5	0.59	
Lungime-pantă (LS)	0-2	67.1	62.5	-0.03	8
	2-6	23.1	20.4	-0.06	
	6-10	5.9	6.4	0.04	
	10-50	3.7	10.3	0.45	

	50-190	0.1	0.3	0.41	
TPI	(-35.3) - (-7.10)	3.5	18.3	0.72	5
	(-7.09) - (-2.1)	16.5	52.5	0.50	
	(-2.09) - 1.66	57.3	28.8	-0.30	
	1.67- 6.98	18.6	0.4	-1.68	
	6.99 - 44.5	4.2	0.0	-	

Pp (%) – procentul pixelilor clasei; Pt (%) – procentul de pixeli torențiali; WAI – Integrare medie ponderată

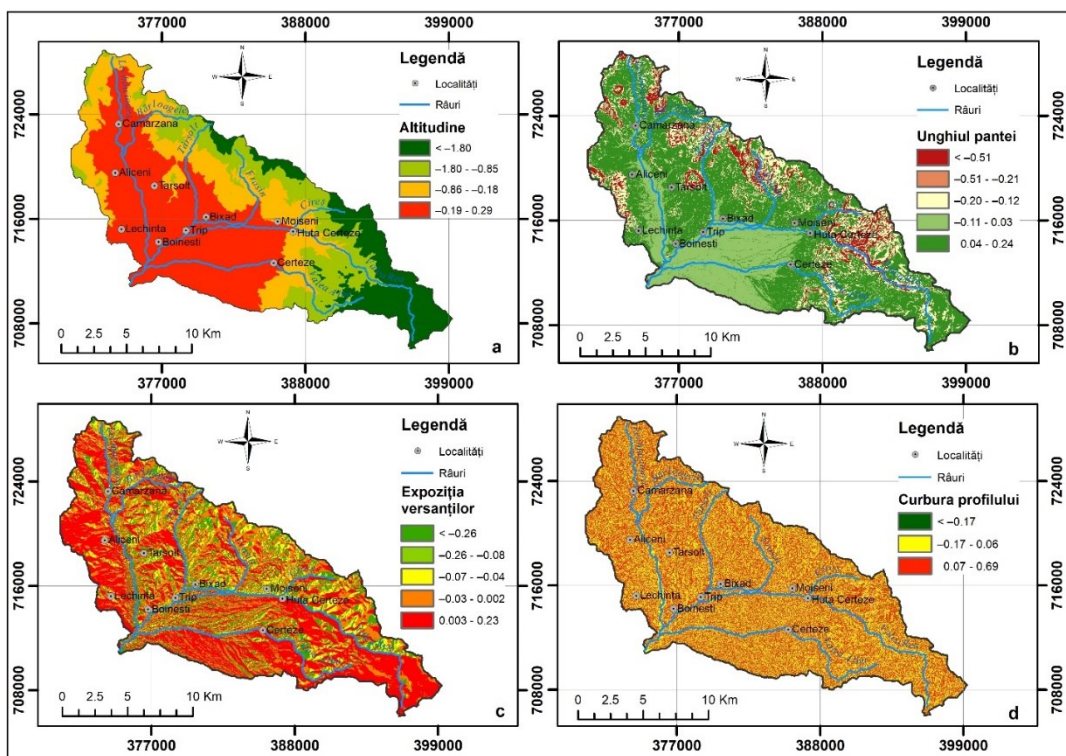


Figura 9. Bazinul hidrografic Valea Rea: a) altitudine, b) unghiul pantei, c) expoziția versanților, d) curbura profilului

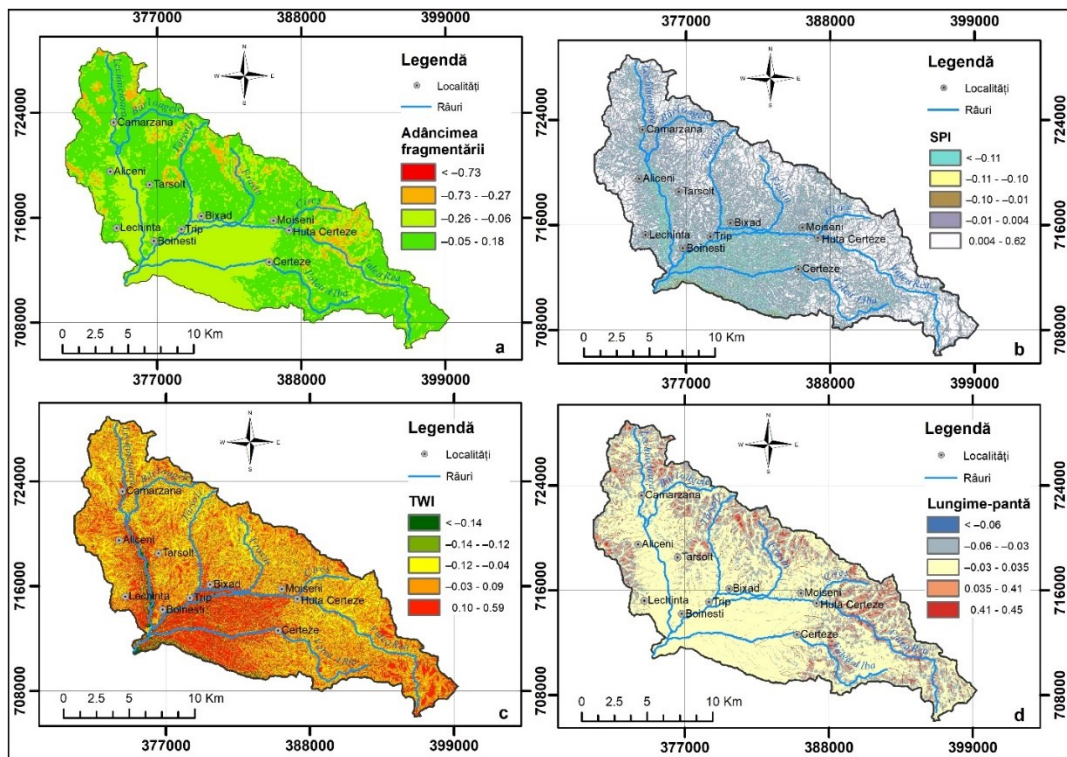


Figura 10. Bazinul hidrografic Valea Rea: a) adâncimea fragmentării, b) SPI, c) TWI, d) lungime-pantă

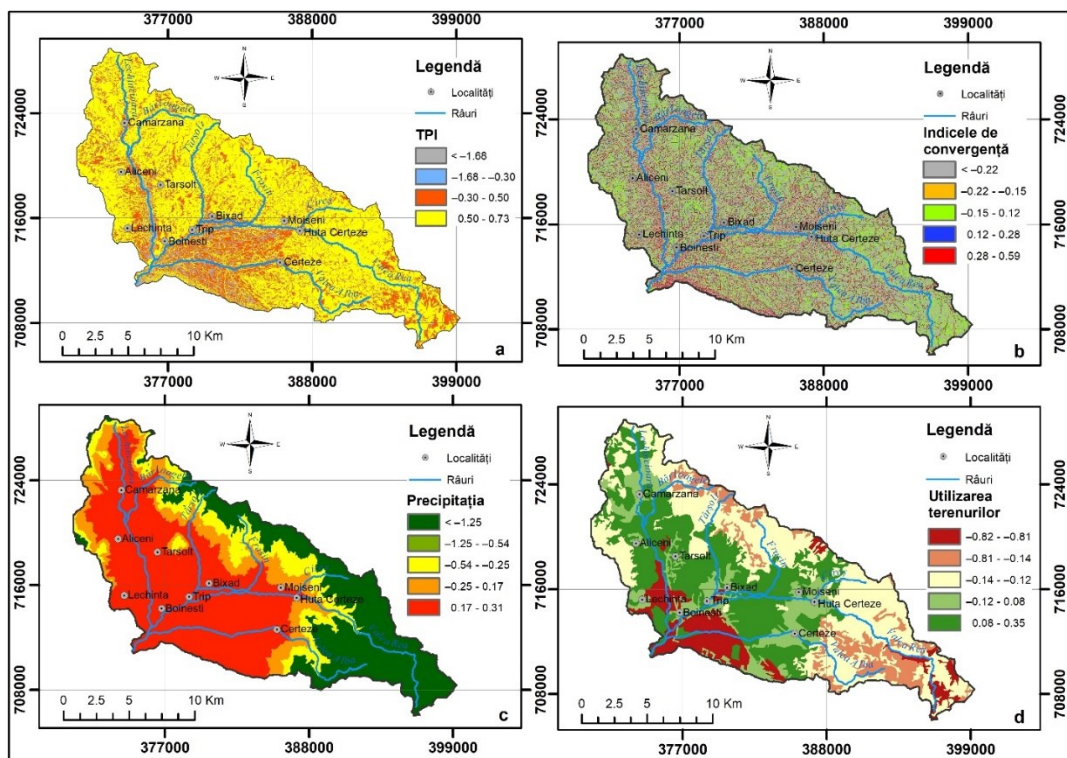


Figura 11. Bazinul hidrografic Valea Rea: a) TPI, b) indicele de convergență, c) precipitația, d) utilizarea terenurilor

Tabel 4. Clasele variabilelor predictoare de viituri rapide, cu rezultatele lor de WofE (Kocsis et al., 2022)

Variabile Predictoare	Clase	Pp (%)	Pt (%)	WofE	WAI (%)
Indicele de convergență	0.1 - 99	53.3	31.9	-0.22	7
	(-0.9) - 0	26.6	19.0	-0.15	
	(-1.9) - (-1)	8.3	11.0	0.13	
	(-2.9) - (-2)	3.8	7.3	0.28	
	(-99) - (-3)	7.9	30.8	0.59	
Precipitația	800-850	14.3	21.2	0.17	7
	850-950	32.0	65.8	0.31	
	950-1000	13.6	7.6	-0.25	
	1000-1050	13.1	3.8	-0.54	
	1050-1209	27.1	1.5	-1.25	
Utilizarea terenurilor	Spațiu urban discontinuu și spațiu rural	5.7	4.8	-0.12	10
	Terenuri arabile neirigate	8.0	0.0	-	
	Livezi	13.6	26.7	0.25	
	Pășuni secundare	14.7	19.6	0.08	
	Zone de culturi complexe	7.2	9.2	0.06	
	Terenuri predominant agricole în amestec cu vegetație naturală	3.6	9.0	0.35	
	Paduri de foioase	35.8	29.2	-0.13	
	Paduri de conifere	0.3	0.0	-	
	Paduri mixte	1.3	0.0	-	
	Pajisti naturale	9.3	1.6	-0.81	
	Zone de tranziție cu arbusti (în general defrisate)	0.5	0.0	-	
Litologia	Areale cu vegetație rară	0.1	0.0	-	2
	Andezite cu amfiboli	0.1	0.0	-	
	Andezite bazaltoide (pn)	36.2	20.1	-0.17	
	Andezite cuarțifere (pn)	5.8	2.6	-0.35	
	roci piroclastice	4.3	4.4	0.01	
	Argile marnoase, nisipuri, pietrisuri	23.6	32.6	0.14	
	Andezite (sm, pn)	0.6	1.2	0.27	
	depozite aluvial-proluviale	3.2	14.8	0.67	
	Granodiorite porfirice	0.6	0.9	0.19	
	depozite deluviale	11.1	0.1	-2.07	
Tipuri de sol	Pietrisuri, nisipuri și nisipuri argiloase	13.4	19.2	0.16	5
	Diorite porfirice	1.0	4.1	0.59	
	Soluri brune acide	22.4	7.1	-0.50	
	Soluri brune-luvice (podzolite)	21.8	42.3	0.29	
	Soluri brune argiloiluviale	15.0	22.9	0.18	
	Litosoluri	3.4	2.6	-0.12	
	Luvisoluri albice (podzolice argiloiluviale)	18.5	23.1	0.10	
	Soluri brune eu-mezobazice	9.2	2.0	-0.66	
Grupa hidrologică a solurilor	Andosoluri	9.7	0.0	-	10
	Soluri aluviale	0.0	0.0	-	
	D	46.9	22.3	-0.32	10
	B	41.7	71.3	0.23	

	C	11.4	6.4	-0.25
--	---	------	-----	-------

Pp (%) – procentul pixelilor clasei; Pt (%) – procentul de pixeli torențiali; WAI – Integrare medie ponderată

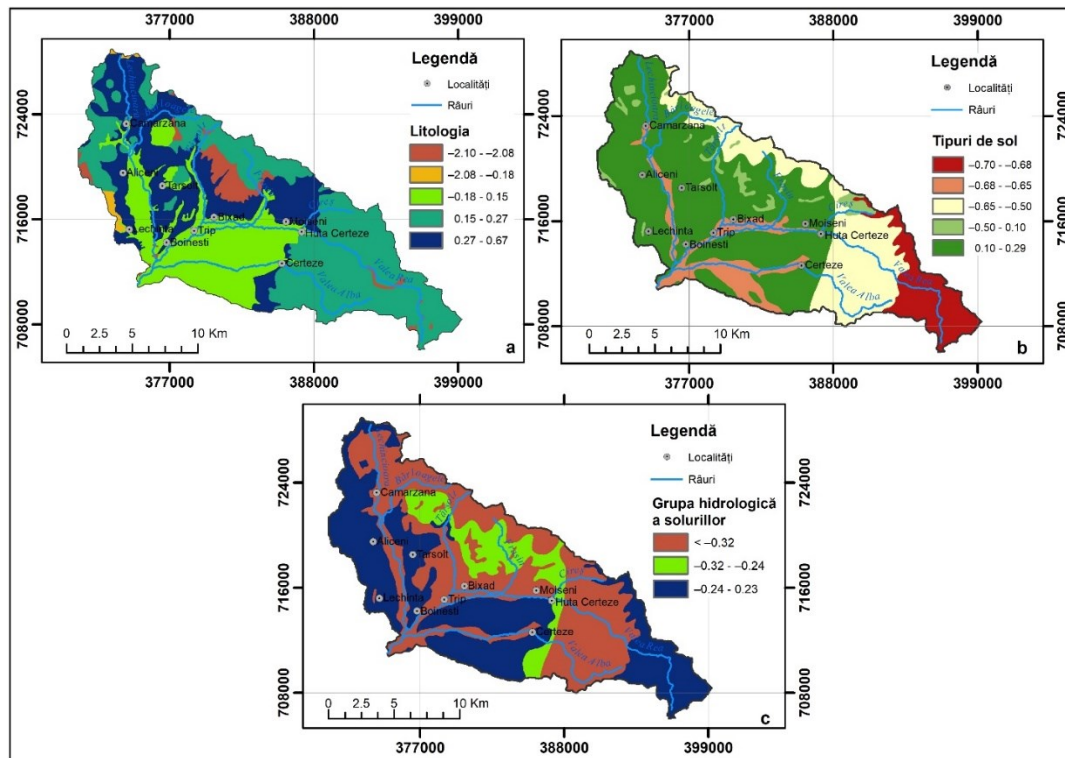


Figura 12. Bazinul hidrografic Valea Rea: a) litologia, b) tipuri de sol, c) grupa hidrologică a solurilor

Distribuția FFPI_{wofE} în bazinul hidrografic Valea Rea

Integrarea factorilor analizați unitar pentru obținerea bazelor de date finale, reprezentative pentru teritoriul analizat din punct de vedere al FFPI s-a făcut pe baza metodei “*weighted average overlay*”, obținându-se o bază de date spațială, care clasificată pe cinci clase (de la foarte mic la foarte mare) reprezintă vulnerabilitatea teritorială în ceea ce privește FFPI (Figura 13).

Analizând rezultatul obținut ca urmare a implementării modelului de analiză spațială pe trei categorii de vulnerabilitate: categorie mică (vulnerabilitate foarte mică și mică), categorie medie (suprapusă spațial zonei de tranziție) și categorie mare (vulnerabilitate mare și foarte mare) iese clar în evidență vulnerabilitatea mare a arealului analizat la dezvoltarea FFPI, reprezentând aproximativ 43% ca extensiune spațială în cadrul arealului analizat.

La nivel teritorial impactul este unul major datorită faptului că întreaga categorie de vulnerabilitate mare are ca suprafață de manifestare intravilanele UAT-rilor din arealul analizat, manifestându-se totodată în zonele cu cea mai mare densitate a infrastructurilor de locuit, anexe și conexe.

Validarea modelului de analiză spațială s-a realizat pe baza comparării directe a rezultatelor obținute cu locuri de manifestare a viiturilor rapide identificate aleator în teritoriu. Astfel, pentru validare s-au ales două locații în așa fel încât să acopere o suprafață cât mai vastă din arealul analizat.

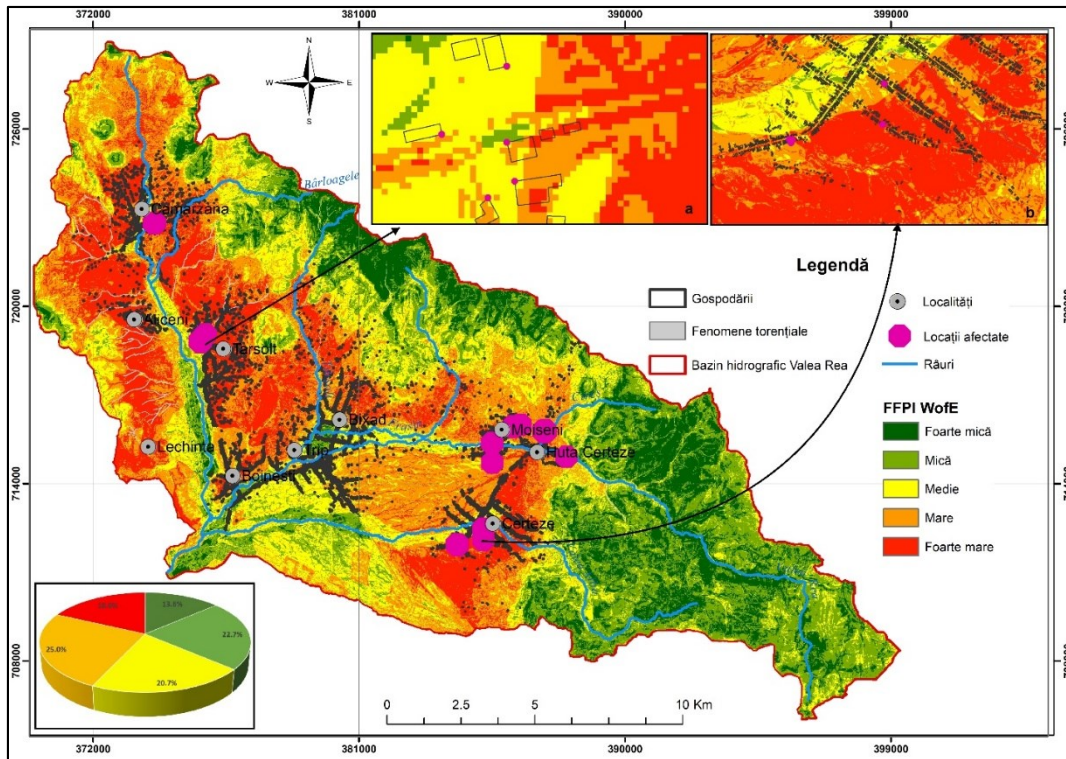


Figura 13. Bazinul hidrografic Valea Rea: Distribuția $FFPI_{WofE}$, a) areal de validare 1, b) areal de validare 2

5.2. MODUL DE UTILIZARE A TERENURILOR ȘI IMPORTANȚA LUI ÎN CADRUL MODELELOR PENTRU ESTIMAREA VIITURILOR. APLICAȚIE ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC ȚIBLEȘ-RUNC-SĂLĂUȚA

5.2.1. Metodologie și baze de date

Studiul efectuat asupra bazinelor hidrografice învecinate Țibleș, Runc și Sălăuța a avut drept scop analizarea schimbărilor suferite de-a lungul timpului de covorul vegetal și influența acestora asupra scurgerii de suprafață pe baza metodei SCS-CN în mediul GIS. Pentru acest scop,

studiul se folosește de bazele de date Corine Land Cover (CLC) din anii 2000, 2006 și 2012 respectiv de extensia GIS, *ArcHydro* pentru delimitarea bazinelor și analiza arealului de studiu. Schimbările din teren se analizează comparativ atât la un nivel relativ scurt din punct de vedere al duratei cât și lung (luând în considerare schimbările produse pe parcursul întregii durate de timp), pentru a observa dacă rata acestora se intensifică sau nu odată cu trecerea timpului. O a doua analiză se referă la contribuția fiecărui tip de utilizare în funcție de diferite scenarii ale condițiilor de umezeală anterioară (AMC), la același eveniment pluvial, luând în considerare atât volumul total scurs în punctele de închidere ale bazinelor cât și distribuția spațială a acestuia la nivel de pixel și categorie de folosință.

Într-o etapă ulterioară Indexul CN, a fost ajustat în funcție de diferite scenarii ale condițiilor de umezeală anterioară a solului.

5.2.2. Rezultate

Din punct de vedere al schimbărilor tipurilor de vegetație, raportate la suprafața totală de teren, la nivelul tuturor celor trei bazine se remarcă același trend pentru perioada 2000-2012, de scădere a fondului forestier și a suprafețelor pășunilor și de creștere a utilizării terenurilor pentru agricultură.

În general, cele mai mari schimbări, s-au produs între anii 2000 și 2006, terenurile agricole extinzându-se în detrimentul pădurilor și pășunilor (ocupând cu 6,8% și 4,4% mai mult din suprafața totală a Țibleșului, respectiv a Sălăuței).

Prin urmare, la nivelul întregului areal de studiu, luând ca valori de referință cele ale anului 2000 și pe baza clasificării la micro-scară, se poate observa că cele mai mari schimbări s-au produs în primii 7 ani, mai ales în cadrul zonelor de agricultură complexă, a livezilor, a zonelor cu vegetație subalpină și fânețelor. Cele ocupate de fânețe s-au dublat pe parcursul a câțiva ani, ducând la dispariția vegetației subalpine, iar zonele cu agricultură complexă au crescut cu peste 50% în suprafață. Cele mai mari extinderi le-au avut livezile, deși acestea nu ocupau în anul 2000 decât o mică suprafață de sub 1 km² în cadrul bazinului Țibleș.

După cum s-a menționat mai sus, metoda SCS-CN a fost utilizată pentru simularea stratului de apă scurs, ceilalți factori determinanți, fiind considerați constanți pentru aprecierea cât mai precisă a relației utilizare teren-scurgere. Metoda a fost integrată în mediul GIS și funcțiile de

analiză spațială și statistică au fost folosite pentru extragerea valorilor. Din punct de vedere al volumului maxim scurs per pixel, rezultatele arată că nu au fost diferențe mari între ani, la același scenariu AMC (Tabel 5).

Tabel 5. Volume de apă simulate la nivel de pixel

Bazin hidrografic	Clase AMC	Volum scurs (m ³) per pixel								
		2000			2006			2012		
		Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
TIBLEȘ	AMC1	0.000	1.52	13.8	0.000	1.70	13.8	0.000	1.71	13.8
	AMC2	0.040	4.63	18.8	0.040	4.87	18.8	0.110	4.90	18.8
	AMC3	2.07	8.74	23.2	2.06	8.96	23.2	2.60	8.99	23.1
RUNC	AMC1	0.000	1.80	8.50	0.000	1.90	8.50	0.000	2.0	8.60
	AMC2	0.000	5.30	14.7	0.000	5.40	14.7	1.00	5.50	14.9
	AMC3	2.00	9.60	18.9	2.00	9.70	18.9	4.00	9.80	19.1
SĂLĂUȚA	AMC1	0.000	0.800	11.2	0.000	0.900	11.2	0.000	0.900	12.0
	AMC2	0.000	3.30	15.5	0.000	3.40	15.5	0.000	3.40	16.6
	AMC3	0.100	6.80	17.9	0.100	6.90	17.9	0.100	6.90	19.0

Din punct de vedere al distribuției spațiale a volumelor de apă scurse, indiferent de condițiile de umezeală anterioară, schimbările mai mari se observă în sectoarele mijlocii și inferioare ale bazinelor, unde activitățile agricole au cea mai mare amploare și pădurile suprafețe mici, care s-au restrâns în timp. Conform scenariului evenimentului pluvial ales, în cazul volumului total de apă scurs la nivel de bazin se remarcă diferențe de cantități însemnate de-a lungul timpului (Tabel 6).

Tabel 62. Volumul total de apă scurs la nivel de bazin

Bazin hidrografic	Clase AMC	Volumul total de apă scurs (m ³)		
		2000	2006	2012
TIBLEȘ	AMC1	240440	268311	270517
	AMC2	732517	770718	774670
	AMC3	1381816	1416492	1421849
RUNC	AMC1	141369	150738	157419
	AMC2	412915	422658	427118
	AMC3	750266	759371	762513
SĂLĂUȚA	AMC1	545683	577335	585489
	AMC2	2172470	2218413	2233001
	AMC3	4510732	4560759	4577983

Analizând aceste schimbări ca procentaj din valorile de referință (respectiv de la începutul fiecărui interval de timp analizat), se remarcă același tipar de schimbări mai mari între anii 2000 și 2006 la nivelul tuturor bazinelor, având o puternică corelație cu schimbările de vegetație din teren.

6. VALIDAREA MODELULUI GIS PE BAZA METODEI STUDIULUI DE CAZ: VIITURA RAPIDĂ DIN 1 AUGUST 2019 PRODUSĂ ÎN BAZINUL SUPERIOR AL RÂULUI VALEA REA

Viitura rapidă produsă în data de 1 August 2019 la S.h. Huta Certeze a fost aleasă în vederea validării fizice a “Modelului GIS pentru cartografierea arealelor vulnerabile la viituri rapide”.

Cantitatea totală de apă cumulată, măsurată la s.h. Huta Certeze a fost de 132.5 l/mp. Nivelul maxim observat la s.h. Huta Certeze a fost de 225 cm față de cota “0 miră”, depășind cu 25 cm Cota de Inundație. Pornind de la debitul de bază de 0.265 mc/s, observat în dimineața evenimentului la ora 06:00, debitul maxim înregistrat a fost de 46,6 mc/s, produs la ora 17.30, formând o viitură monoundă.

6.1. Metodologie

Pentru modelarea viiturii rapide care a avut loc pe data de 1 august 2019 am folosit programul *Mike Hydro River*, modelul hidrologic care folosește *Metoda Hidrografului Unitar (UHM)* din *Modulul Rainfall-Runoff*, în vederea obținerii hidrografului de scurgere înregistrată la stația hidrometrică.

Așadar sunt disponibile patru opțiuni diferite pentru a reprezenta modelul de pierdere (Strapazan et al., 2021), fiecare dintre ele necesitând intrări diferite: *Pierdere constantă (Constant loss)*, *Pierdere proporțională (Proportional loss)*, *Metoda SCS, SCS generalizată (generalised)*.

6.2. Rezultate

Simularea viiturii rapide a fost efectuată cu programul *MIKE HYDRO River – UHM*, folosind ca și date de intrare precipitațiile măsurate la s.h. Huta Certeze. Pentru calcularea pierderilor de infiltrație au fost utilizate toate cele patru metode (*Tabel 7, Figura 15*).

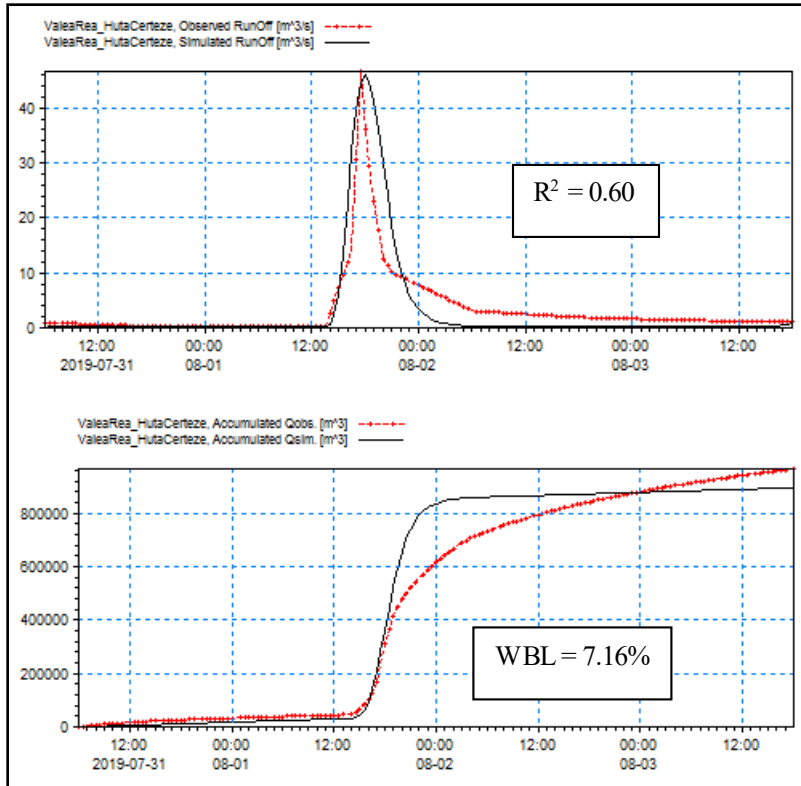


Figura 14. Auto-calibrare UHM, Metoda Proportională

Hidrograful debitelor simulată cu metoda *Proportional Loss* redă cel mai credibil momentul declanșării și propagarea viiturii rapide în comparație cu caracteristicile hidrografului observat, fiind autentificat și de rezultatele de auto-calibrare utilizate de MIKE: $R^2 = 0.60$, water balance (WBL) = 7.16% (Figura 14).

Tabel 7. Rezultatul simulărilor

Tipuri de modele a pierderilor prin infiltrație	Parametrii	Volum Acumulat [m³]	Debitul Maxim Simulat [m³/s]	Erori în comparație cu debitul maxim înregistrat	
				amplitudine	decalaj
Constant Loss	Pierdere inițială: 48 mm Pierdere constantă: 30 mm/h Timpul de întârziere: 2.53 Factor de ajustare a arealului: 1	736755.40	48.5	+ 4.1 %	+ 30 min
Proportional Loss	Coefficient de scurgere: 0.1 Timpul de întârziere: 2.53 Factor de ajustare a arealului: 1	896280.71	46.1	- 1%	+ 30 min
Metoda SCS	CN = 63 AMC inițial = 1 Timpul de întârziere: 2.53 Factor de ajustare a arealului: 1	728506.90	44.1	- 5.4%	+ 2 h
SCS generalised	CN = 63 Adâncimea abstracției inițiale: 87 Timpul de întârziere: 2.53 Factor de ajustare a arealului: 1	745127.34	46.9	+ 0.6%	+ 2 h

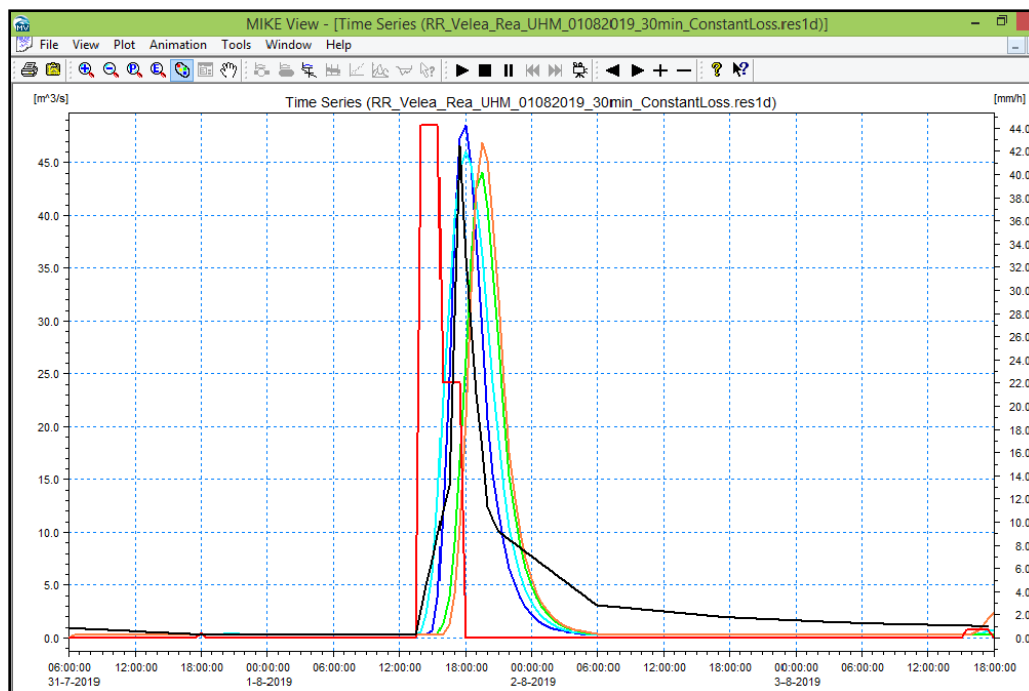


Figura 15. Hidrograful debitelor (— înregistrat, — Constant Loss, — Proportional Loss, — Metoda SCS, — SCS generalised, — Precipitații observate)

7. CONCLUZII

În urma studiului realizat, privind “determinarea potențialului de precipitații a formațiunilor noroase pe baza imaginilor radar”, putem afirma faptul că în cazul situațiilor convective și prefrontale radarele RDOD și RDBB surprind arealele cu precipitații împreună cu vârfurile cantitative ale acestora, prezentând totodată diferențe semnificative în regiunile periferice ale arealului de studiu. În cazul situațiilor frontale, atunci când fronturile se manifestă în orele de dimineață, radarul meteorologic nu estimează cantitățile de precipitații cumulate, cu mențiunea că RDBB observă ariile cu precipitații însemnate cantitativ, însă cu estimări imprecise.

În cadrul studiului privind “corectarea cantităților de precipitații estimate radar pe baza măsurătorilor insitu pentru spațializarea precipitațiilor”, au fost obținute hărți de încredere cu precipitații comasate din două surse diferite de baze de date pentru 15 evenimente de precipitații, produse în bazinele hidrografice ale râurilor Țibleș, Runc și Sălăuța.

Un rezultat important al acestui studiu reprezintă validarea metodei CMT, pentru a fi utilizat în cadrul bazinelor hidrografice studiate. În concluzie, am remarcat că acuratețea modelului a fost

mai mică în cazul evenimentelor de precipitații locale, torențiale de mare intensitate (celule convective), în special la cazurile unde au fost detectate valori extreme, și în consecință variabilitate mare a valorilor măsurate, respectiv cu o acuratețe ridicată în cazul evenimentelor unde ploile au avut o distribuție uniformă (sisteme frontale). În general, modelul final a avut rezultate bune în estimarea distribuției spațiale a diferitelor evenimente pluviale (Kocsis et al., 2022).

Metodologia de CMT utilizată oferă un potențial avantaj pentru extinderea câmpului de precipitații combinate radar-pluviometru, asupra bazinelor hidrografice de dimensiuni mici, în care măsurătorile cu pluviometre sunt limitate sau lipsesc în totalitate.

Elaborarea studiului privind *”realizarea hărții de susceptibilitate la inundații aplicând modelul de analiză statistică bivariată WofE”*, în cadrul b.h. Valea Rea a reprezentat obiectivul principal al tezei de cercetare. Structura modelului prezentat se încadrează metodologiilor generale bazate pe analiza statistică de identificare a vulnerabilității teritoriale de viituri de versant, implementând o serie de factori noi (adâncimea fragmentării, tipuri de sol, precipitația) care influențează dezvoltarea și propagarea acestora. Ținând cont de mecanismele care guvernează dezvoltarea viiturilor de versant și pe baza analizei *expert knowledge* s-a decis ca ponderea cea mai mare să fie atribuită factorului pantă, urmat de LULC și HSG. Factorii cu ponderea cea mai mică sunt reprezentați de litologie, SPI și altitudine, factori care nu influențează direct scurgerea (Kocsis et al., 2022).

Modelul a fost validat pe baza comparării directe a rezultatelor obținute cu locații de manifestare anterioară și de identificare a efectelor inundațiilor, scoțând în evidență faptul că modelul poate fi luat în calcul pentru aplicare practică, dar și pentru implementare pe teritorii cu aceleași specific.

Metodologia prezentată a fost aplicată pentru identificarea zonelor predispuse la viituri rapide, în diferite clase, de la vulnerabilitate foarte mică la foarte mare. De asemenea se evidențiază faptul că zonele cu vulnerabilitate mare și foarte mare acoperă aproximativ 43% din suprafața totală a bazinului, evidențiind natura excesiv torențială a zonei de studiu și riscurile potențiale pentru infrastructura teritorială.

Studiul privind *“modul de utilizare a terenurilor și importanța în cadrul modelelor pentru estimarea viiturilor”* reprezintă un alt model, diferit față de cel precedent, care poate fi implementat cu succes pentru identificarea arealelor vulnerabile la viituri rapide.

Simularea procesului de ploaie-scurgere având la bază un eveniment pluvial de amploare și uniform distribuit, cu referire la schimbările istorice ale utilizării terenurilor și diferite condiții de umezeală anterioară, a demonstrat faptul că bazinele și volumele de apă scurse aferente sunt extrem de sensibile la activitățile agricole. Studiul efectuat a arătat că și cele mai mici schimbări își pun amprenta asupra scurgerii din cadrul unor bazine montane cu suprafețe diferite. Singurul avantaj îl reprezintă faptul că în ultima jumătate a perioadei analizate covorul vegetal nu a mai suferit schimbări la fel de mari, ceea ce duce cu gândul la o oarecare diminuare a practicilor agricole și o scădere a potențialului de scurgere.

În concluzie, dacă această tendință va continua, ar putea duce la o stagnare a exploatării agricole și la un potențial de scurgere redusă.

Studiul de caz: Viitura rapidă din 1 august 2019 produsă în bazinul superior al râului Valea Rea, la s.h. Huta Certeze a fost aleasă în vederea validării fizice a modelului GIS pentru cartografierea arealelor vulnerabile la viituri rapide.

Abaterile obținute în comparație cu debitul maxim înregistrat au o amplitudine cuprinsă între -5.4% și +4.1%, cu un decalaj privind atingerea debitului de vârf de +30 m și +2 h, în cazul celor două metode de SCS.

Rezultatele bune obținute cu toate cele patru metode confirmă faptul că MIKE HYDRO River – UHM poate fi utilizat în vederea prognozării fluxurilor de apă către râuri sau lacuri, pentru estimarea resurselor de apă, în vederea managementului riscului la inundații, precum pentru validarea fizică a studiilor privind realizarea hărților de susceptibilitate și vulnerabilitate la inundații în bazine hidrografice torențiale.

Pe lângă validarea fizică, modelul GIS de analiză spațială propus pentru “*cartografierea digitală a arealelor vulnerabile la viituri rapide în cadrul bazinelor torențiale*”, a fost supus și validării statistice. Ca urmare, un model frecvențial validat atât statistic cât și fizic poate fi utilizat în practica de specialitate.

Evaluarea riscului probabil este o etapă absolut necesară în procesul de management integrat a unui teritoriu, pentru a scoate în evidență areale viabile din punct de vedere a dezvoltării activităților umane. Modelul GIS de analiză spațială propus pentru *cartografierea digitală a arealelor vulnerabile la viituri rapide în cadrul bazinelor torențiale*, se poate contura ca o metodologie aplicabilă în cadrul studiilor de amenajare a teritoriului, cu utilitate foarte mare în managementul terenurilor și administrațiilor publice locale pentru diminuarea riscului la viituri

rapide. Cercetările viitoare întreprinse pentru arealul analizat se vor focusa pe evaluarea riscului asupra tuturor infrastructurilor teritoriale și emiterii de soluții pentru diminuarea acestora.

8. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Aquaproiect S.A. (2014). *Planul pentru prevenirea, protecția și diminuarea efectelor inundațiilor (PPPDEI) în bazinul hidrografic Someș Tisa*.
2. Armas, I. (2012). Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping. Prahova Subcarpathians, Romania. *Journal of Natural Hazards*, 60(3). <https://doi.10.1007/s11069-011-9879-4>
3. Barredo, J. I., Roo, A., & Lavallo, C. (2007). Flood risk mapping at European scale. *Journal of water science and technology*, 56, 7-11. <https://doi.10.2166/wst.2007.531>
4. Bilașco, Ș. (2008). *Implementarea G.I.S. în modelarea viiturilor de versant*. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
5. Bilașco, Ș., & Horváth, Cs. (2016). *Cartografierea digitală a benzilor de inundabilitate pe baza statisticii, a calculelor hidraulice și a analizei spațiale GIS*. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
6. Bilașco, Ș., Horváth, Cs., Cocean, P., Sorocovschi, V., & Oncu, M. (2009). Implementation of the USLE model using GIS techniques. Case study The Someșean Plateau. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), 123-132.
7. Bilasco, S., Horvath, Cs., Roșia, G., Filip, S., & Keller, I. E. (2011). Statistical model using GIS for assessment of landslide susceptibility. Case-study: The Someș Plateau. *Rom J Geogr*, 55(2), 91-111.
8. Blöschl, G., & Grayson, R. (2001). Toward Capturing Hydrologically Significant Connectivity in Spatial Patterns. *Water Resources Research*, 37(1), 83-98. <https://doi.10.1029/2000WR900241>
9. Braxton, E. (2006). GIS-based radar rainfall verification. *Significant Opportunities in Atmospheric Research and Science*. USA.
10. Brewster, J. (2009). *Development of the Flash Flood Potential Index*. http://www.erh.noaa.gov/bgm/research/ERFFW/presentations/june02_2010/Brewster_Jim_Development_of_FFPI.ppt. (accessed on 9 February 2022).
11. Burcea, S., Cheval, S., Dumitrescu, A., Antonescu, B., Bell, A., & Breza, T. (2012). Comparison between radar estimated and rain gauge measured precipitation in the Moldovan Plateau. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(4), 723-731. <https://doi.10.30638/eemj.2012.093>
12. Castellarin, A., Kohnová, S., Gaál, L., Fleig, A., Salinas, J. L., Toumazis, A., Kjeldsen, T. R., & Macdonald, N. (2012). *Review of applied-statistical methods for flood-frequency analysis in Europe*. Technical report (NERC) Centre for Ecology & Hydrology.
13. Chendeș, V. (2011). *Resursele de apă din Subcarpații de la Curbură. Evaluări geospațiale*. Editura Academiei Române, București.
14. Chiang, Y.-M., Hsu, K., Chang, F.-J., & Hong, Y. (2007). Merging multiple precipitation sources for flash flood forecasting. *Journal of Hydrology*, 340, 183-196. <https://doi.10.1016/j.jhydrol.2007.04.007>

15. Costache, R., & Zaharia, L. (2017). Flash-flood potential assessment and mapping by integrating the weights-of-evidence and frequency ratio statistical methods in GIS environment – case study: Bâsca Chiojdului River. *Journal of Earth System Science*, 126(4). <https://doi.10.1007/s12040-017-0828-9>
16. Costache, R., Hong, H., & Pham, Q. (2020). Comparative assessment of the flash-flood potential within small mountain catchments using bivariate statistics and their novel hybrid integration with machine learning models. *Science of The Total Environment*, 711. <https://doi.10.1016/j.scitotenv.2019.134514>
17. Costache, R., Prăvălie, R., Mitof, I., & Popescu, N.-C. (2015). Flood vulnerability assessment in the low sector of Sărățel catchment. Case study: Joseni village. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(1), 161-169.
18. Danish Hydraulic Institute, DHI. (2017). *MIKE HYDRO River, User guide*. Danish Hydraulic Institute, Denmark. <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water Resources/MIKEHydro River UserGuide.pdf> (accessed on 28 February 2023).
19. Deyzel, I. T. H., Pegram, G. G. S., Visser, P. J. M., & Dicks, D. (2003). *Spatial interpolation and mapping of rainfall (SIMAR): Vol. 2. Radar and satellite products. Final report to the Water Research Commission*. South African Weather Service.
20. Drobot, R. (1997). *Bazele statistice ale hidrologiei*. Editura Didactică și Pedagogică București.
21. Drobot, R., & Șerban, P. (1990). *Aplicații de hidrologie și gospodărirea apelor*. H.G.A., București. *Earth and environmental sciences*, 14(2), 439-448. <https://doi.10.26471/cjees/2019/014/093>
22. Ehret, U. (2002). *Rainfall and flood nowcasting in small catchments using weather radar*. [Doctoral dissertation, University of Stuttgart].
23. Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. *Technometrics*, 42. Oxford University Press.
24. Griffis, V. W., & Stedinger, J. R. (2007). The log-Pearson type III distribution and its application in flood frequency analysis. I: Distribution characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering* 12(5), 482-491. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:5\(482\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:5(482))
25. Gurung, P. (2016). Integration of gauge and radar rainfall to enable best simulation of hydrological parameters. *Hydrological Science Journal*, 62, 114-123. <https://doi.10.1080/02626667.2015.1117087>
26. Haidu, I. (2008). GIS and frequency analysis for the identification of vulnerable areas to extreme hydrological events. *Proceedings of the Geoinformatics Forum Salzburg*, (2), 103-108.
27. Haidu, I., Crăciun, A. I., & Bilașco, Ș. (2007). The SCS-CN model assisted by G.I.S. – alternative estimation of the hydric runoff in real time. *Geographia Technica*, 1, 1-7.
28. Harader, E., Estupina, V. B., Ricci, S., Coustau, M., Thual, O., Piacentini, A., & Bouvier C. (2012). Correcting the radar rainfall forcing of a hydrological model with data assimilation: application to flood forecasting in the Lez catchment in Southern France. *Hydrology and Earth System Science*, 16, 4247-4264. <https://doi.10.5194/hess-16-4247-2012>
29. Irimuș, I. A. (2003). *Geografia fizică a României*. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
30. Irimuș, I. A., Vescan, I. & Man, T. (2005). *Tehnici de cartografie, monitoring și analiză GIS*. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
31. Irimuș, I. A., Rus, M.-I., Cioban, T. D., & Bilașco, S. (2015). Quantitative Estimation of Annual Average Rate of Soil Erosion in the Almas Hydrographical Basin, Using USLE and GIS. 15th

- International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Cartography & GIS*, 1071-1079. <https://doi.10.5593/sgem2015B22>
32. Ivănescu, V., Mocanu, P., & Sandu, M. A. (2014). Application of a hydrodynamic Mike 11 model for Argesel River. *14th SGEM GeoConference on water resources, forest, marine and ocean ecosystems*, 65-72. <https://doi.10.5593/SGEM2014/B31/S12.009>
 33. Karamage, F., Zhang C., Fang, X., Liu, T., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Kayiranga, A., & Nsengiyumva, J. B. (2017). Modeling Rainfall-Runoff Response to Land Use and Land Cover Change in Rwanda (1990–2016). *Journal of Water* 9(3), 147. <https://doi.10.3390/w9020147>
 34. Kocsis, I., Bilaşco, Ş., Irimuş, I.-A., Dohotar, V., Rusu, R., & Roşca, S. (2022). Flash flood vulnerability mapping based on FFPI using GIS spatial analysis, case study: Valea Rea Catchment Area, Romania. *Sensors*, 22(9), 3573. <https://doi.10.3390/s22093573>
 35. Kocsis, I., Haidu, I., & Maier, N. (2020). Application of a hydrological Mike Hydro River - UHM model for river Valea Rea (Romania). Case study, flash flood event occurred on august 1st, 2019. *Air and water components of the environment conference proceedings*, 257-272. https://doi.10.24193/AWC2020_24
 36. Kocsis, I., Irimuş, I.-A., Patriche, C., Bilaşco, Ş., Maier, N., Roşca, S., Petrea, D., & Bartók, B. (2022). GIS-based methodology to combine raing gauge and radar rainfall estimates of precipitation using the conditional merging technique for high-resolution quantitative precipitation forecasts in Ţibleş and Rodnei Mountains. *Atmosphere*, 13(7). <https://doi.10.3390/atms13071106>
 37. Niţioaia, A., Maier, & N., Kocsis, I. (2021). Analysis of estimated doppler radar rainfalls. Case studies for north-western Romania using two Wsr-98d doppler radars. *Air and water components of the environment conference proceedings*, 209-224. https://doi.10.24193/AWC2021_20
 38. Patriche, C. V. (2009). *Metode statistice în climatologie*. Terra Nostra. Iaşi.
 39. Patriche, C. V., Sfică, L., & Roşca, B. (2008). About the problem of digital precipitations mapping using (geo)statistical methods in GIS. *Geographia Technica*, 1, 82-91.
 40. Pettazzi, A., & Salsón, S. (2012, Iunie 25-29). *Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging: a case study*. ERAD - The seventh european conference on radar in meteorology and hydrology, Toulouse, France.
 41. Pişota, I., & Zaharia, L. (2002). *Hidrologie*. Editura Universităţii, Bucureşti.
 42. Pişotă, I., Zaharia, L., & Diaconu, D. (2010). *Hidrologie, Ediţia a II-a revizuită și adăugată*. Ediţia Universitară Bucureşti, Bucureşti.
 43. Popa, M. C., Peptenatu, D., Draghici, C., & Diaconu, D. C. (2019). Flood hazard mapping using the flood and flash-flood potential index in the Buzău River catchment, Romania. *Journal of Water*, 11(10), 2116. <https://doi.10.3390/w11102116>
 44. Popa, M. C., Simion, A., Peptenatu, D., Dima, C., Draghici, C., Florescu, M.-S., Dobrea, R. C., & Diaconu, D. C. (2020). Spatial assessment of flash-flood vulnerability in the Moldova river catchment (N Romania) using the FFPI. *Journal of Flood Risk Management*, 13(1). <https://doi.10.1111/jfr3.12624>
 45. Rahmati, O., Pourghasemi, H., & Zeinivand, H. (2015). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Journal of Geocarto International*.
 46. Roşca, S., Petrea, D., Bilaşco, Ş., Rus, I., Irimuş, I.-A., Fodorean, I., & Vescan, I. (2014). Assessment of Flood Hazard and Risk using GIS and Historical Data. Case-Study: The Niraj River

- Basin (Transylvania Depression, Romania). *14th SGEM GeoConference on Informatics Geoinformatics and Remote Sensing*, 497-509. <https://doi.5593/SGEM2014/B23/S11.063>
47. Sabău, D. A., Șerban, G., Kocsis, I., Stroi, P., & Stroi, R. (2018). Winter Phenomena (Ice Jam) on rivers from the Romanian Upper Tisa Watershed in 2016-2017 winter season. *Water Management and the Environment: Case Studies* (pp. 125-174). Springer International Publishing. https://doi.10.1007/978-3-319-79014-5_7
 48. Serviciul Hidrometeorologic de Stat al Republicii Moldova. (2020). *Instrucțiuni metodologice. Elaborarea prognozelor meteorologice și difuzarea de avertizări în situația producerii de fenomene atmosferice periculoase*. Chișinău.
 49. Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng J., Wang, J. A., Ge, Y., & Qiu, G. Y. (2007). The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. *Catena*, 69, 31-35. <https://doi.10.1016/j.catena.2006.04.015>
 50. Sinclair, S., & Pegram, G. (2005). Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging. *Atmospheric Science Letters*, 6, 19-22. <https://doi.10.1002/asl.85>
 51. Strapazan, C., Haidu, I., & Kocsis, I. (2019). Assessing land use/land cover change and its impact on surface runoff in the southern part of the Țibleș and Rodnei Mountains. *Air and water components of the environment conference proceedings*, 225-236. https://doi.10.24193/AWC2019_23
 52. Strapazan, C., Haidu, I., & Irimuș, I.-A. (2021). A comparative assessment of different loss methods available in Mike Hydro River – UHM. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(1), 261 – 273. <https://doi.10.26471/cjees/2021/016/172>
 53. Ștreang, O., Morar, C., & Roman, P. (2005). Utilizarea tehnicilor GIS în monitorizarea rapidă a cantităților de precipitații estimate cu radarul WSR98D căzute în bazine hidrografice mici. *Sesiunea anuală de comunicări științifice* (pp. 73-80). INHGA, Bucuresti.
 54. 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.10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
 55. Universitatea Dimitrie Cantemir. (2013). *Hazard și risc în evaluarea și gestiunea resurselor naturale*. <https://www.scribd.Com/doc/146056288/managementul-RISCULUI> (accessed on 5 April 2023).
 56. Zaharia, L., Costache, R., Prăvălie, R., & Minea, G. (2015). Assessment and mapping of flood potential in the Slănic catchment in Romania. *Journal of Earth System Science*, 124(6), 1311-1324. <https://doi.10.1007/s12040-015-0608-3>
 57. Zaharia, L., Costache, R., Prăvălie, R., & Toroimac, G. I. (2017). Mapping flood and flooding potential indices: a methodological approach to identifying areas susceptible to flood and flooding risk. Case study: the Prahova catchment (Romania). *Frontiers of Earth Science*, 11(2). <https://doi.10.1007/s11707-017-0636-1>
 58. Zoccatelli, D., Borga, M., Zanoni, F., Antonescu, B., & Stancalie, G. (2010). Which rainfall spatial information for flash flood response modelling? A numerical investigation based on data from the Carpathian range, Romania. *Journal of Hydrology*, 394, 148-161. <https://doi.10.1016/j.jhydrol.2010.07.019>