

Universitatea Babeş-Bolyai din Cluj-Napoca

Facultatea de Geografie

Şcoala Doctorală de Geografie

TEZĂ DE DOCTORAT

-Rezumat-

**Determinarea debitelor maxime pe baza metodologiei GIS în vederea
evaluării riscului de viituri. Aplicații la bazinele mici din arealul
montan mijlociu al Depresiunii Braşovului.**

Conducător doctorat

Prof. univ. dr. Ioan Aurel IRIMUŞ

Doctorand

Carina STRAPAZAN

CLUJ-NAPOCA

2023

CUPRINS

1. INTRODUCERE	3
1.1. Scopul și obiectivele cercetării.....	3
2. STADIUL CERCETĂRILOR LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL	4
2.2. Tipuri de modele hidrologice și etapele procesului de modelare.....	6
3. ELEMENTE DE LOCALIZARE GEOGRAFICĂ A BAZINELOR DE STUDIU	8
4. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE NECESARE MODELĂRII SCURGERII DE SUPRAFAȚĂ	9
4.1. Baza de date numerică (valorică).....	9
4.2. Baza de date cartografică.....	10
4.2.1. Identificarea automată a bazinelor hidrografice și a cursurilor de apă cu modulul GIS ArcHydro.....	11
4.2.2. Elemente definitorii ale bazinelor hidrografice și baza de date GIS derivată.....	12
5. METODOLOGIA CERCETĂRII PENTRU DETERMINAREA SCURGERII MAXIME ȘI MODELAREA VIITURILOR CU METODA NRCS-CN	15
5.1. Metode pentru determinarea valorilor CN.....	15
5.1.1. Prelucrarea bazei de date.....	15
5.1.2. Metoda tabulară a determinării CN din tabelele NRCS (TAB).....	16
5.1.3. Metode bazate pe relația ploaie-scurgere.....	18
5.1.4. Analize statistice pentru evaluarea performanței metodelor. Sistemul R.	20
5.2. Metodologie GIS de reprezentare spațială a precipitațiilor pe baza estimărilor radar ..	21
5.3. Modelul cu parametri concentrați. Modelarea viiturilor cu ajutorul MIKE HYDRO River-UHM.....	21
5.4. Modelul cu parametri semi-distribuiți. Modelarea viiturilor cu ajutorul HEC-HMS. ..	23
5.5. Modelul cu parametri distribuiți. Modelarea viiturilor cu ajutorul Modelului de la Cluj.	23

5.5.1. Implementarea unui algoritm GIS de calcul a vitezelor folosind Python	25
5.5.2. Implementarea unui algoritm GIS de calibrare a parametrului CN	26
6. REZULTATELE CERCETĂRILOR ȘI DISCUȚII	27
6.1. Aplicație în vederea determinării valorilor CN. Abordare comparativă între procedura clasică și cea bazată pe relația ploaie-scurgere	27
6.2. Spațializarea precipitațiilor pe baza informațiilor radar și a datelor măsurate în teren. 32	
6.3. Abordare comparativă a metodelor aferente modulului UHM-MIKE HYDRO River cu aplicații la nivelul bazinului Teliu.....	33
6.4. Aplicații ale metodei SCS din modulul UHM-MIKE HYDRO River și rezultate. Abordare comparativă a valorilor CN determinate pentru sezonul de vegetație.	35
6.5. Aplicații ale modelului semi-distribuit aferent HEC-HMS și rezultate. Studiu de caz pe bazinele Covasna și Ozunca.	44
6.6. Aplicații ale Modelului de la Cluj și rezultate.....	47
CONCLUZII.....	50
BIBLIOGRAFIE	51
ANEXE.....	Error! Bookmark not defined.

Cuvinte cheie: metoda NRCS-CN; mediana; ajustare asimptotică; medie geometrică; Depresiunea Brașov; Mike Hydro River; HEC-HMS;SCS; GIS

1. INTRODUCERE

În ultimii 20 de ani, Europa s-a confruntat cu nenumărate fenomene de tipul secetelor și al precipitațiilor extreme generatoare de viituri și inundații (Hänsel et al., 2022) care au avut ca efect pierderi economice semnificative și chiar victime umane. Frecvența și magnitudinea crescută a unor astfel de fenomene a dus la consecințe catastrofale în multe regiuni, efectele fiind încă resimțite puternic la nivelul zonelor populate din bazinele hidrografice de dimensiuni mici din România, unele fiind chiar lipsite de infrastructură de protecție împotriva inundațiilor.

Modelarea proceselor de ploaie-scurgere constituie o necesitate, în special la nivelul acestei țări unde asemenea areale prezintă o densitate redusă a secțiunilor de monitorizare.

1.1. Scopul și obiectivele cercetării

În România cel mai mult se folosește metoda rațională pentru calculul scurgerii maxime în bazinele mici, nemonitorizate, metoda americană NRCS-CN fiind mai puțin prezentă în activitatea de domeniu hidrologic.

Prezenta cercetare a plecat de la ipoteza că metoda NRCS-CN ar putea constitui o alternativă solidă pentru determinarea scurgerii maxime și a undelor de viitură la nivelul bazinelor nemonitorizate din țară.

Realizarea scopului amintit, presupune parcurgerea mai multor etape în cadrul cercetării, după cum urmează:

- ❖ Determinarea valorilor CN folosind atât metodologia clasică de utilizare a datelor din tabelele literaturii de specialitate, cât și prin aplicarea unor metodologii bazate pe relația ploaie-scurgere folosind datele măsurate la stațiile hidrometrice. În urma datelor obținute se realizează o analiză comparativă între metodele folosite, având la bază stratul scurs generat de fiecare metodă în parte;
- ❖ Simularea hidrografelor de viitură pe baza valorilor CN determinate anterior, folosind trei tipuri de modele: modelul cu parametri concentrați, cu parametri semi-distribuiți și cu parametri distribuiți

Cercetarea întreprinsă pornește, de asemenea, de la ipoteza existenței unei relații între CN și cantitatea de precipitații care poate fi definită doar pe baza datelor măsurate, precum și a faptului că utilizarea valorilor aferente tabelului NRCS fără validare pe baza înregistrărilor la stații ar putea genera rezultate nesigure.

Bazinele care urmează a fi studiate sunt situate în arealul montan mijlociu care încadrează Depresiunea Braşovului. Acesta a fost selectat întrucât se caracterizează printr-un număr limitat de puncte de monitorizare și este predispus la producerea viiturilor cu efecte negative asupra localităților din zonă. În ultimele două decenii astfel de evenimente majore au fost înregistrate în anii 2010, 2016 și 2018, dintre care ultimii doi ani au înregistrat valori istorice.

Chiar dacă bazinele sunt monitorizate, viiturile rapide de pe afluenții lor, nemonitorizați, adesea cauzează probleme activităților locale. Autoritățile de profil forestier desfășoară activități importante în zonă, de multe ori întrerupte, dat fiind faptul că drumurile forestiere din apropierea afluenților sunt afectate de viituri. De altfel, județul Covasna este unul dintre cele mai afectate de viituri de la noi din țară. Prin urmare, un scop secundar al acestei lucrări constă în estimarea debitelor maxime cu ajutorul metodei amintite și a modelului cu parametri semi-distribuiți, la nivelul afluenților mai importanți din bazinele Covasna și Ozunca.

2. STADIUL CERCETĂRILOR LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL

Metoda **NRCS-CN**, anterior sub denumirea de Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN), a fost dezvoltată în anul 1954 și publicată de Serviciul de Conservare a Solului inițial în Secțiunea 4 a National Engineering Handbook (NEH-4), având la bază ecuația de estimare a scurgerii totale din cantitatea de precipitații (NRCS,2004):

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} && \text{pentru } P > I_a, \\
 Q &= 0 && \text{pentru } P \leq I_a, \\
 I_a &= \lambda S && (1)
 \end{aligned}$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \text{ sau } CN = \frac{25400}{254 + S} \quad (2)$$

Unde:

P reprezintă cantitatea de precipitații (mm);

I_a se referă la pierderile inițiale (mm);

S reprezintă potențialul maxim de retenție (mm).

Parametrul CN (adimensional) se determină pe baza tabelelor NRCS care inițial au fost publicate în National Engineering Handbook-4 (NEH-4), iar acum se regăsesc în documentația aferentă NEH-630 (NRCS,2004), acesta înglobând caracteristicile care influențează scurgerea la nivel de bazin hidrografic precum utilizarea terenului, tipul de sol și condițiile hidrologice (Mishra & Singh, 2003; D'Asaro et al., 2014; Gyori et al., 2016). Tabelele NRCS cu valorile indicilor CN au fost adaptate de către Chendeș (2007) pentru teritoriul României și prezentate ulterior și în cadrul altor lucrări (Drobot, 2007; Chendeș, 2011).

Metoda a fost dezvoltată pe baza cercetărilor efectuate în bazine agricole mici din S.U.A. (Ponce & Hawkins, 1996), cu timpul, utilizarea ei extinzându-se asupra celor rurale, împădurite sau urbane, metodologia clasică stabilind coeficientul $\lambda = 0.2$ în utilizări (Mishra & Singh, 2003). Studiile ulterioare au demonstrat neajunsurile aplicării acestei valori, rezultate superioare fiind obținute pentru $\lambda = 0.05$ (ex. Hawkins et. al., 2009; D'Asaro et al. 2014), recomandând redefinirea tabelor NRCS. În România, metoda a fost aplicată într-o serie de studii precum Man și Alexe (2006), Crăciun et al. (2009), Crăciun (2011), Domnița (2012), Gyori (2013), Costache (2014), Gyori et al. (2016), Zaharia et al. (2017), Kaffai-Vodă (2022) etc.

Având în vedere că dezvoltarea metodei a avut la bază în cea mai mare parte informații caracteristice zonelor agricole (Hawkins et. al., 2009) și că tabelele NRCS presupun o multitudine de valori CN aferente inclusiv arealelor împădurite, care în regiunile tropicale și temperate nu au fost validate (Im et al., 2020), utilizarea acestora la nivel local comportă dificultăți, calibrările asupra datelor măsurate reprezentând o necesitate (Hawkins et. al., 2009, Strapazan et al., 2023a). Valorile CN obținute (CN II) prin aplicarea clasică a metodei corespund condițiilor AMC II (condiții de umezeală anterioare normale), necesitând convertirea la AMC I (condiții uscate) sau AMC III (condiții umede) în funcție de precipitațiile acumulate cu 5 zile înaintea producerii fenomenului pe baza valorilor prag aferente documentației din 1964 (SCS, 1964). Aceste criterii au fost excluse din versiunile NRCS ulterioare, începând cu anul 1993, termenul AMC fiind înlocuit cu „condiții de scurgere anterioare” (ARC) ținând cont de multitudinea factorilor adiționali umezelii solului (Hawkins et al., 2019).

Cu toate acestea, studiile efectuate în România care au aplicat metoda indexului CN, s-au bazat pe tabelele din documentația NRCS și procedura clasică de determinare a AMC-ului,

având în vedere multitudinea bazinelor hidrografice nemonitorizate sau care dispun de puține secțiuni de monitorizare, șirurile de observații nefiind suficient de lungi (Strapazan et al., 2023a).

O serie de studii au dezvoltat sau aplicat diverse metode pentru obținerea valorilor CN pe baza datelor $P-Q$ (ploaie-scurgere) măsurate la stații: metoda asymptotic fitting (ex. Hawkins, 1993; D'Asaro et al., 2014; Calero Mosquera et al., 2021), metoda medianei (ex. Ajmal et. al., 2016; Ibrahim et al., 2022), metoda mediei geometrice și a mediei aritmetice (ex. Tedela et al., 2012; Ibrahim et al., 2022). Numeroase cercetări au demonstrat că la cantități însemnate de precipitații, există o tendință a valorilor CN de a se stabiliza, parametrul reprezentând mai degrabă o variabilă cu valori diferite în funcție de eveniment (Hjelmfelt, 1991; Ponce & Hawkins, 1996; Strapazan et al., 2023a). Metoda NEH-4 exclude această variabilitate și tendința generală a valorilor CN de a scădea odată cu creșterea cantității de precipitații, motiv pentru care poate genera erori sistematice (Hawkins et. al., 2009).

2.2. Tipuri de modele hidrologice și etapele procesului de modelare

Unul dintre subiectele principale ale hidrologiei îl constituie relația dintre cantitatea de precipitații și scurgerea generată, a cărei analiză a evoluat în timp, de la relații și calcule simple, până la modelele matematice complexe din zilele noastre.

Chow et al. (1988) clasifică modelele în două categorii: modele fizice (scalare și analogice) și modele abstracte (matematice) din care fac parte modelele deterministe. Acestea din urmă, se împart la rândul lor în: modele cu parametri distribuiți (tip cutie albă) care țin cont de variabilele spațiale ale parametrilor (Abbott & Refsgaard, 1996), modele empirice (tip cutie neagră) care se bazează doar pe intrările și ieșirile din sistem (Beven, 2012) și modele conceptuale (tip cutie gri) cu parametri concentrați (Gyori, 2013).

Există și o variantă intermediară între modelele cu parametri distribuiți și cele cu parametri concentrați și anume acele modele semi-distribuite care consideră divizarea suprafețelor pe baza similarității proprietăților care prezintă interes, distribuirea parametrilor fiind considerată fie la nivelul unităților hidrologice de răspuns, fie al subbazinelor (Gyori, 2013). În funcție de variația spațială a caracteristicilor sistemului modelat, modelele pot fi, astfel, clasificate în modele cu parametri concentrați, semi-distribuiți și distribuiți (Crăciun, 2011). Un exemplu al structurii spațiale în modelele hidrologice poate fi observat în Figura 1.

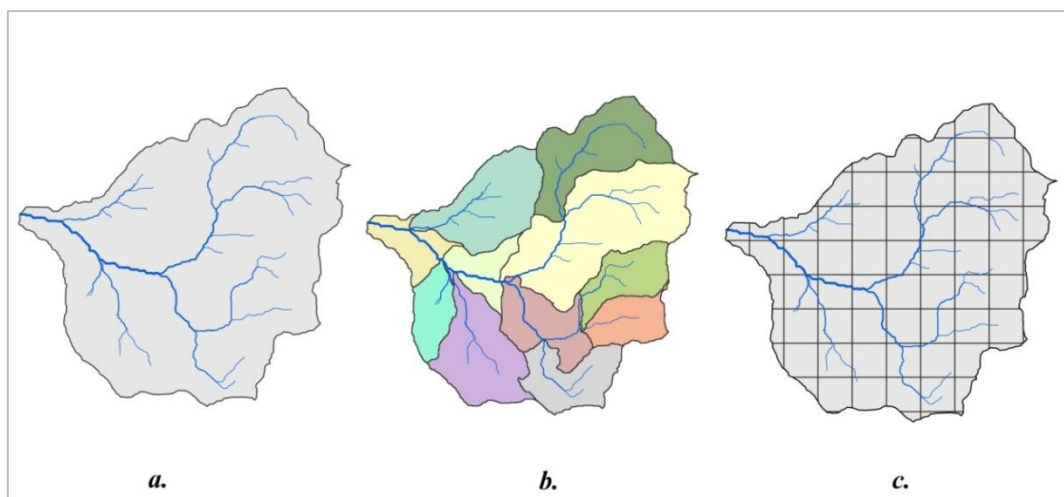


Figura 1. Structura spațială a modelelor hidrologice: a. cu parametri concentrați; b. cu parametri semi-distribuiți la nivel de subbazin; c. cu parametri distribuiți

Începând cu anul 1960, apariția calculatoarelor a condus la dezvoltarea de modele hidrologice computerizate, acestea devenind în ultima vreme un instrument esențial, în special pentru rezolvarea problemelor din domeniul hidrologiei (cum ar fi analiza bazinelor nemonitorizate), procesul fiind unul automatizat, facilitând, astfel, întregul demers (ex. Modelele Stanford, KINEROS2, SHE, MIKE HYDRO River, HEC-HMS, etc.). **MIKE HYDRO River** permite modelări 1D hidraulice și hidrodinamice, dispunând de 4 tipuri de modele hidrologice cu parametri concentrați aferente modulului de ploaie-scurgere incorporat (DHI, 2017). Modelul a fost aplicat într-o serie de studii, atât la nivel internațional, cât și în România (ex. Ivănescu et al., 2014; Talchabhadel & Shakya, 2015; Bălan et al., 2016; Kocsis et al., 2020). **HEC-HMS** reprezintă un software dezvoltat pentru a simula scurgerea în cadrul bazinului reprezentând un sistem în care componentele hidrologice și hidraulice sunt interconectate (USACE, 1998). Acesta a fost folosit pentru estimarea scurgerii în bazine hidrografice mici de numeroși autori precum Gyori și Haidu (2011), Gyori et al. (2013), Khaddor și Alaoui (2014), Haidu și Ivan (2016), etc.

Dezvoltarea produselor GIS din ultimele decenii, a condus la apariția unor serii de module și extensii care vin în ajutorul analizelor și realizării de calcule hidrologice (ex. AGWA, Hec-GeoHMS, ArcHydro, ArcSWAT).

Prezenta cercetare se va folosi de două soft-uri de modelare, respectiv HEC-HMS și MIKE HYDRO River, precum și de modelul cu parametri distribuiți (modelul de la Cluj), rezultatele urmând a fi comparate în vederea identificării unei proceduri optime prin care metoda NRCS-CN să poată fi folosită la nivelul arealului studiat.

3. ELEMENTE DE LOCALIZARE GEOGRAFICĂ A BAZINELOR DE STUDIU

Teza de doctorat se axează pe analiza a 4 bazine hidrografice monitorizate, localizate în partea centrală a României (Figura 2). Stațiile hidrometrice aparțin Administrației Naționale a Apelor Române, Sistemele de Gospodărire a Apelor Covasna și Brașov

Toate bazinele aparțin sectorului superior al râului Olt și fac parte din categoria celor de mici dimensiuni care conform Institutului de Meteorologie și Hidrologie (1971), sunt cele care au suprafețe ale bazinelor de recepție sub 100 km², a căror cunoaștere hidrologică necesită o atenție sporită.

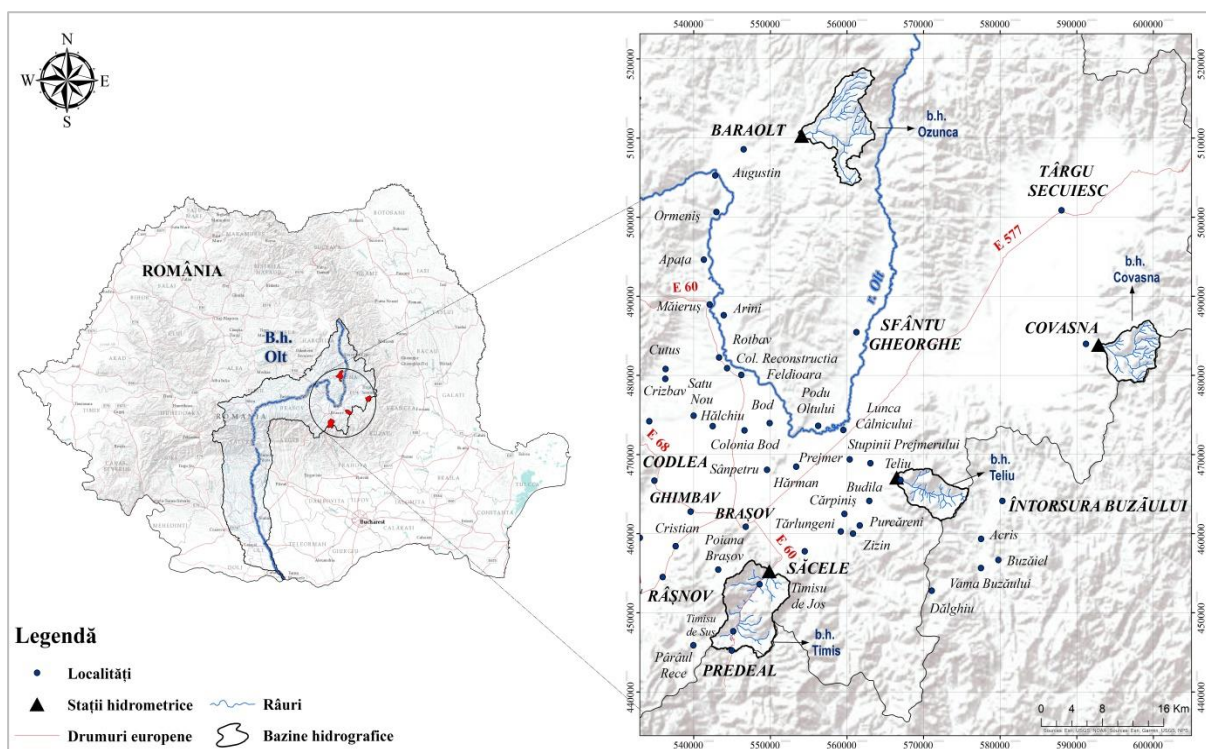


Figura 2. Localizarea geografică a bazinelor studiate (adaptare după Strapazan et al., 2023a)

Areele analizate se desfășoară pe rama muntoasă care înconjoară Depresiunea Brașovului (Figura 3). Prezenta cercetare s-a realizat asupra sectoarelor superioare, montane ale bazinelor hidrografice, aparținând arealului montan mijlociu al României, punctele de închidere fiind reprezentate de posturile hidrometrice care le monitorizează.

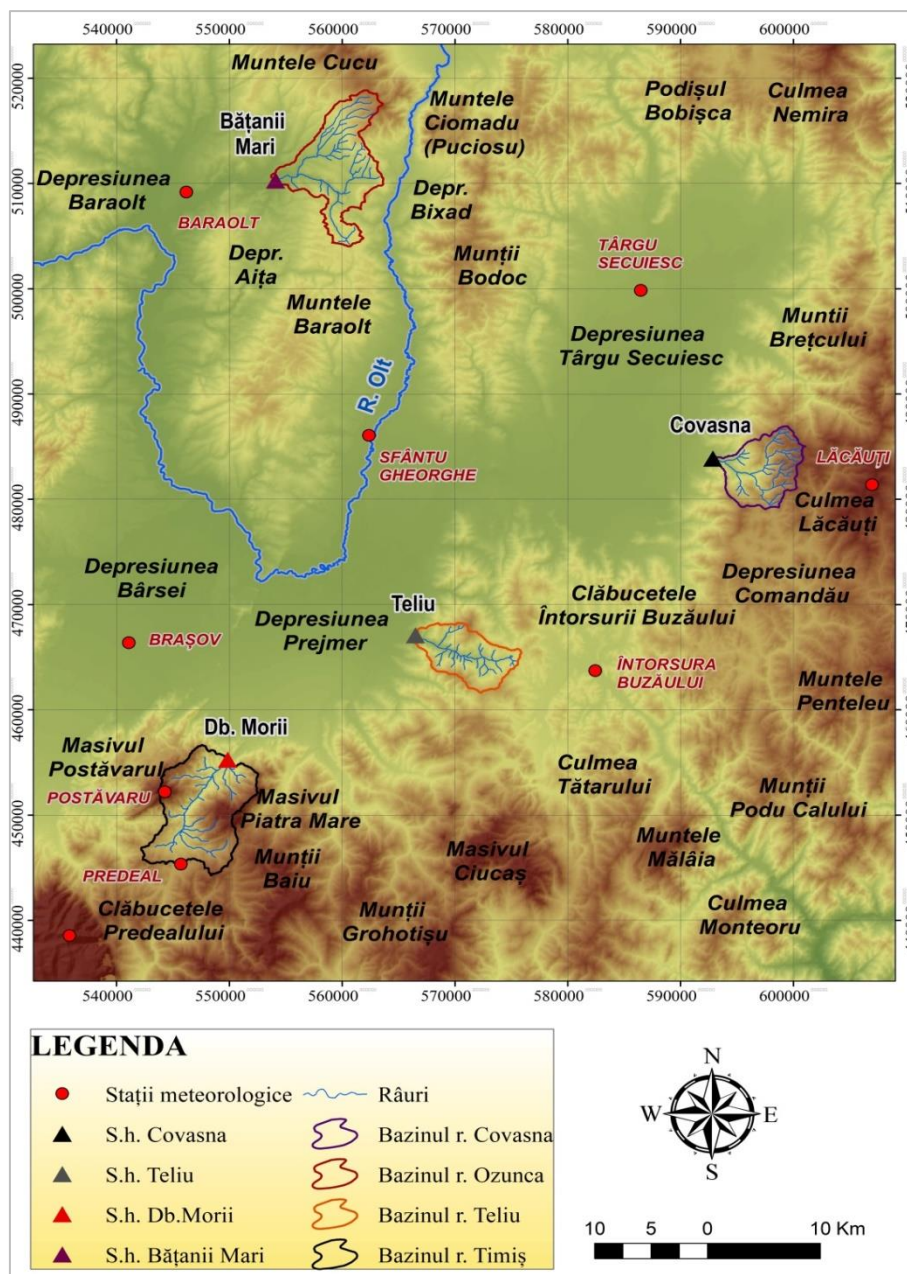


Figura 3. Principalele unități de relief și secțiuni de monitorizare

4. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE NECESARE MODELĂRII SCURGERII DE SUPRAFAȚĂ.

4.1. Baza de date numerică (valorică)

Datele utilizate în cadrul lucrării corespund unei serii temporale maxime cuprinse între anii 1991 și 2020 și au fost furnizate de Administrația Bazinală de Apă Olt - Sistemele de Gospodărire a Apelor Covasna (S.G.A. Covasna) și Brașov (S.G.A. Brașov), respectiv

I.N.H.G.A. (Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor) și A.N.M. (Administrația Națională de Meteorologie):

- *date meteorologice* - șiruri de valori zilnice ale precipitațiilor, avertizări și cantități înregistrate în timpul viiturilor din bazine. S-au mai utilizat date legate de intensitatea și durata precipitațiilor de la stațiile meteorologice (s.m.) Lăcăuți și Întorsura Buzăului, precum și cantități înregistrate la s.m. Predeal și stația hidrometrică (s.h.) Micfalău; cantități de precipitații estimate din date radar (acumulări orare), furnizate de A.N.M. Pentru corecția estimărilor radar, au mai fost utilizate informații corespunzătoare s.m. Vf. Omu, Brașov-Ghimbav, Miercurea Ciuc, Târgu Secuiesc și Sfântu Gheorghe. Informațiile de la stațiile meteorologice au fost preluate din bazele de date Meteomanz (Meteomanz, 2017) și RP5 (RP5, 2017): <http://meteomanz.com/>, <https://rp5.ru/>.
- *date hidrologice* înregistrate la cele 4 stații hidrometrice din bazine (Tabelul 1).

Tabelul 1. Elemente generale ale seriilor de date folosite

Bazin hidrografic	Post hidrometric	Intervalul de timp aferent seriilor de date utilizate în cadrul cercetării	Serii de date	Nr. de evenimente utilizate în cadrul cercetării
Teliu	Teliu	1991-2020	debite, precipitații zilnice, viituri	57
Timiș	Db. Morii	1993-2020	debite, precipitații zilnice, viituri	64
Covasna	Covasna	2004-2018	debite, precipitații zilnice, viituri	34
Ozunca	Bățanii Mari	2004-2018	debite, precipitații zilnice, viituri	32

4.2. Baza de date cartografică

- *Harta topografică 1:25000* de pe care au fost digitizate curbele de nivel, în vederea generării modelului digital de elevație (DEM). Pentru efectuarea unei analize comparative și identificării automate a suprafețelor bazinale s-a utilizat, de asemenea, modelul digital european *EU-DEM v1.1 (European Union Digital Elevation Model)* descărcat de pe website-ul <https://land.copernicus.eu/>, fiind pus la dispoziția publicului larg prin programul Copernicus (Mouratidis & Ampatzidis, 2019; Strapazan et al., 2019; Strapazan et al., 2021; Strapazan et al., 2023b).
- *Harta pedologică* la scara 1:200.000 pentru România în format digital realizată de Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Pedologie Agrochimie și Protecția Mediului (ICPA- România).

- *Hărțile de utilizare a terenului* preluate din baza de date *Corine Land Cover (CLC)*, datele fiind puse la dispoziția publicului larg prin programul Copernicus (EEA, 2017, 2018, 2020). În cadrul acestei cercetări, s-au folosit versiunile CLC din 2006, 2012 și 2018 cu scopul de efectua o analiză comparativă, având în vedere revizuirea datelor CLC în timp, precum și existența posibilității unor schimbări apărute pe parcurs în modul de utilizare al terenului și implicit în valorile indexului CN determinate ulterior (Strapazan et al., 2023a).
- Setul de date spațiale pentru *Harta geologică* la scara 1:200.000, realizat de Institutul Geologic al României și pus la dispoziție pe website-ul <https://geoportal.igr.ro/viewgeol200k>. Acesta a fost accesat prin serviciile de vizualizare cu scop informativ.

4.2.1. Identificarea automată a bazinelor hidrografice și a cursurilor de apă cu modulul GIS ArcHydro

Punctul de plecare în prezenta cercetare a fost acela de a analiza acuratețea datelor de intrare provenite din diferite surse și utilizate ca bază în procesul de determinare al scurgerii de suprafață și de modelare a viiturilor. Astfel, s-a examinat acuratețea EU-DEM-ului în derivarea și reprezentarea atributelor primare ale terenului aferente suprafețelor bazinale, urmând a fi comparate valorile altitudinale în cadrul fiecărui bazin în parte cu cele aferente DEM-ului rezultat pe baza digitizării curbilor de nivel (cu o rezoluție de 10 m). Având de-a face cu 4 bazine de dimensiuni mici (sub 100 km²), am optat pentru utilizarea EU-DEM în vederea determinării suprafețelor bazinale datorită rezoluției mai bune, comparativ cu datele ASTER și SRTM disponibile.

Pentru a determina cursurile de apă și bazinele de studiu, s-au utilizat funcțiile disponibile modelului de date ArcHydro. Procesul presupune parcurgerea unui număr considerabil de pași, cum ar fi nivelarea depresiunilor artificiale (*Fill sinks*) rezultate din crearea DEM, stabilirea direcției de scurgere (*Flow direction*), obținerea acumulării scurgerii (*Flow accumulation*), ș.a.m.d (Kraemer & Panda, 2009). Astfel, am implementat un model în ArcGIS, v.10 cu ajutorul Model Builder, pentru a simplifica și scurta timpul aferent întregului demers prin automatizarea acestuia (Strapazan & Petruț, 2017; Strapazan et al., 2019; Strapazan et al., 2021). Modelul încorporează toate funcțiile ArcHydro folosite pentru identificarea bazinelor și a râurilor aferente (Figura 4).

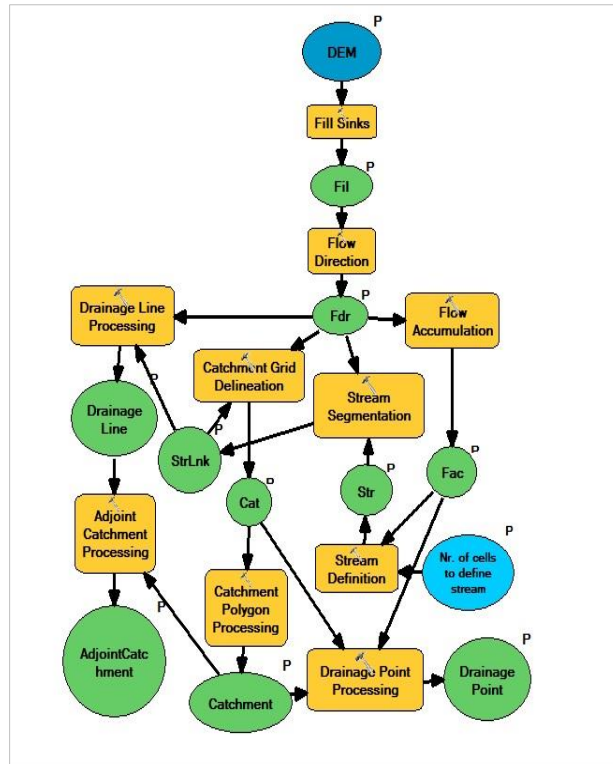


Figura 4. Modelul implementat pentru procesele ArcHydro
(Strapazan & Petruț, 2017)

4.2.2. Elemente definitorii ale bazinelor hidrografice și baza de date GIS derivată.

Factorii naturali cu rol determinant și condițional în existența scurgerii de suprafață, sunt atât cei climatici (care determină scurgerea), cât și cei referitori la caracteristicile geologice, de relief, sol și vegetație, aceștia din urmă fiind factorii condiționali care influențează și favorizează formarea scurgerii (Mustățea, 2005). Prin aplicarea tehnicilor ArcHydro au rezultat suprafețe ale bazinelor de recepție cuprinse între 36 – 75 km² (calculate până în dreptul stațiilor hidrometrice), având altitudini medii care variază între 746 m și 1108 m, maxime de până la 1842 m și minime începând de la 510 m, pantele medii variind între 16,66 – 36,43% (Tabelul 2).

Tabelul 2. Elementele morfometrice ale bazinelor hidrografice

Bazine hidrografice	Suprafața (km ²)	Altitudinea medie (m)	Panta medie (%)	Altitudinea maximă (m)	Altitudinea minimă (m)
Teliu	36	801	24.92	1212	540
Timiș	75	1108	36.43	1842	682
Covasna	39	1037	29.39	1467	600
Ozunca	66	746	16.66	1356	510

Altitudinile, expoziția versanților și substratul geologic

Altitudinea medie a bazinului hidrografic al râului **Teliu** este de 801 m, cea maximă de 1212 m (spre vârful Pilișca) și cea minimă, corespunzătoare sectorului stației, de 540 m, potrivit datelor rezultate prin generarea DEM-ului pe baza curbelor de nivel, cu diferențe foarte mici față de cele extrase din EU-DEM (cu alt. maximă de 1212,1 m, medie de 801,4 m și minimă de 540,3 m). Lungimea maximă a canalului de drenaj până în dreptul stației, rezultată prin aplicarea funcțiilor ArcHydro, este de 11,35 km. La nivelul întregului areal se remarcă dominanța versanților cu orientare nordică (19,84 %), reci și umbriți. Versanții umezi cu expunere vestică și nord-vestică ocupă aproximativ 27% din suprafața bazinului. La nivelul bazinului rocile caracteristice sunt gresiile, marnele și conglomeratele.

Analiza DEM-ului rezultat în urma digitizării curbelor de nivel, indică o altitudine maximă de 1842 m în bazinul r. **Timiș**, spre deosebire cea rezultată pe baza EU-DEM de 1828 m, și o valoare minimă de 682 m corespunzătoare extremității nordice a bazinului unde se află stația hidrometrică (similară celei obținute din EU-DEM de 681,6 m). Lungimea maximă a canalului de drenaj până în dreptul stației, rezultată prin aplicarea funcțiilor ArcHydro, este de 17 km. Dată fiind orientarea văilor, predomină suprafețele umbrite, ocupând până la $\approx 17\%$ din suprafața totală. Catenele muntoase care beneficiază de precipitații și umezeală mai ridicate dețin o pondere de 27,54%. La nivelul bazinului o largă răspândire o au conglomeratele, gresiile, calcarenitele și marnele.

Altitudinea medie a bazinului r. **Covasna** este de 1037 m, cea maximă de 1467 m și cea minimă de 600 m (corespunzătoare zonei depresionare), rezultate din analiza DEM-ului (obținut pe baza curbelor de nivel), datele EU-DEM indicând valori apropiate (alt.med=1035 m; alt.max.=1469 m; alt.min.=600 m), astfel că arealul se încadrează într-un ecart altitudinal de 867 m. Având în vedere orientarea generală a văilor, se remarcă predominarea versanților cu orientare vestică (19%), Versanții mai umezi cu expunere vestică și nord-vestică ocupă un procent însemnat, de aproximativ 36% din suprafața bazinului. Întreg bazinul Covasnei este situat în zona flișului extern, flișul grezos (Faciesul gresiei de Tarcău) și flișul grezos cu intercalații șistoase ocupând cea mai mare parte a bazinului dinspre sectorul superior spre cel mijlociu al acestuia.

Lungimea hidraulică a bazinului r. **Ozunca** este de 15,5 km (rezultată prin calcul), DEM-ul extras pe baza curbelor de nivel indicând o altitudine maximă de 1356 m (în apropierea Vf. Pilișca Mare), medie de 746 m și o valoare minimă de 510 m corespunzătoare extremității vestice a bazinului, în zona stației. Astfel, bazinul se desfășoară pe un ecart

altitudinal de 846 m, cu diferențe mici față de valorile obținute din datele EU-DEM (alt. medie de 745 m și cea minimă de 511 m), cu excepția altitudinii maxime, care conform bazei de date ar fi de 1370 m. La nivelul bazinului predomină versanții vestici, expuși maselor de aer oceanic, bogate în precipitații, ocupând până la 18,4% din areal (care împreună cu expunerile nord-vestice dețin o pondere de 31,2%, ceva mai mică decât în cazul bazinului Covasna). Cea mai mare parte a suprafeței bazinale este ocupată de depozite neocomiene, respectiv Strate de Sinaia, iar în etajul conurilor vulcanice apar andezite neogene cu amfiboli și biotit, cu amfiboli și piroxeni, respectiv andezite piroxenice neogene.

Geodeclivitatea versanților

La nivelul bazinului **Teliu**, terenul în cea mai mare parte (49,5%) se caracterizează prin versanți cu pante cuprinse între 5-15⁰. Nota dominantă a reliefului din bazinul superior al râului **Timiș** este dată de prezența unor versanți repezi cu energie de relief mare și activitate torențială bine reprezentată, motiv pentru care $\approx 28\%$ din areal se caracterizează prin suprafețe cu pante cuprinse între 25-35⁰. O pondere la fel de însemnată o dețin versanții cu valori ale declivității de 5-15⁰ ($\approx 27\%$), în special în sectorul superior al bazinului, unde se află Depresiunea Timișului de Sus. Cea mai mare parte din suprafața b.h. **Covasna** (43%) se caracterizează prin versanți cu pante cuprinse între 5-15⁰, panta medie fiind de 29,4%. La nivelul bazinului **Ozunca** cele mai mari ponderi le dețin versanții cu pante cuprinse între 5-15⁰ (49%), urmați de versanți cu pante de 2-5⁰ (29%).

Utilizarea/acoperirea terenului, vegetația specifică și substratul edafic

Bazinul hidrografic al râului **Teliu** are un grad de împădurire de 70,5%, pădurile de foioase fiind reprezentative (63,7%). O suprafață însemnată de 20,7% o ocupă pășunile, zonele de tranziție cu arbuști și terenurile agricole ocupând în general suprafețe restrânse în sectorul superior al bazinului. Prin analiza datelor CLC 2018, a rezultat un grad de împădurire la nivelul bazinului **Timiș** de 92,4%. Pădurile de foioase și de amestec prezintă ponderi relativ similare la nivelul arealului (23-25%). Gradul de împădurire la nivelul bazinului hidrografic al râului **Covasna** este de 81,5%, remarcându-se dominanța pădurilor de conifere, care se întind pe aproape 70% din areal. Zonele de tranziție pădure-tufişuri (care de regulă sunt de fapt defrișate) ocupă o suprafață relativ însemnată de până la 13,3% din bazin. Vegetația forestieră este mai slab reprezentată în cadrul bazinului **Ozunca**, comparativ cu celelalte bazine, aceasta acoperind doar 55,5% din totalul suprafeței, în cadrul căreia se remarcă dominanța pădurilor de foioase (52,3%) O suprafață destul de mare o ocupă pajiștile naturale (21,3%).

Districambosolurile ocupă cea mai mare parte din suprafața bazinelor analizate: 66,2% în cadrul bazinului Teliu, 78% în bazinul r. Timiș și 73% din suprafața bazinului Covasna. În bazinul r. Ozunca predomină eutricambosolurile cu o pondere de aproape 48%, foarte răspândite fiind și luvosolurile ($\approx 40\%$ din areal).

5. METODOLOGIA CERCETĂRII PENTRU DETERMINAREA SCURGERII MAXIME ȘI MODELAREA VIITURILOR CU METODA NRCS-CN

5.1. Metode pentru determinarea valorilor CN

În cadrul prezentei lucrări vor fi utilizate 5 metode pentru estimarea valorilor CN aferente sezonului de vegetație. Acestea sunt: metoda tabulară (TAB), respectiv procedura clasică a estimării valorilor pe baza tabelor din literatură; metoda asymptotic fitting (aproximării asimptotice) a șirurilor de date obținute pe baza înregistrărilor la stații, atât ordonate (AF_O) cât și neordonate, naturale (AF_N); metoda medianei (MD); metoda mediei geometrice (GM) și metoda mediei aritmetice (AM). Cercetarea pune accent pe aplicabilitatea metodei clasice de determinare a valorilor CN în raport cu utilizarea datelor de precipitații și debite măsurate la stații pentru obținerea acestora (Strapazan et al., 2023a). Toate calculele s-au efectuat, atât pentru coeficientul clasic NRCS al pierderilor inițiale $\lambda = 0.2$, cât și pentru $\lambda = 0.05$, sugerat adesea în literatura de specialitate.

5.1.1. Prelucrarea bazei de date

Pentru analiză s-au folosit toate cele 187 de perechi de valori $P-Q$ (ploaie-scurgere) corespunzând seriei temporale maxime cuprinse între anii 1991 și 2020. Spațializarea precipitațiilor s-a efectuat într-un mediu GIS, prin metoda poligoanelor Thiessen (Strapazan et al., 2023a). Șirurile de valori zilnice corespund lunilor aprilie-octombrie, când alimentarea bazinelor este predominant pluvială. Pentru aplicarea metodei asymptotic fitting, au fost utilizate, atât șirurile de date ordonate, cât și cele neordonate, ale tuturor perechilor $P-Q$. Toate datele folosite pentru aplicarea metodelor tendinței centrale (MD, GM, AM) au fost supuse unor proceduri de analiză, în sensul că s-au eliminat perechile de date parțiale și s-au ales, cu scopul de a evita posibilele erori sistematice asociate cantităților mici de precipitații, doar acele evenimente unde $P > 25.4$ mm [1 inch] (Hawkins et al. 2009), respectiv $P/S > 0.46$ (Hawkins et al., 1985), estimările având la bază cele mai mari 22 (înregistrate la s.h. Teliu și

Dâmbu Morii), respectiv 17 evenimente $P-Q$ (înregistrate la s. h. Covasna și Bățanii Mari) din seria de date (Strapazan et al., 2023a).

Stratul de apă aferent scurgerii directe s-a obținut cu ajutorul programului Cavis dezvoltat de Corbuș (2010), prin modelul cu pantă constantă al separării scurgerii de bază (Figura 5).

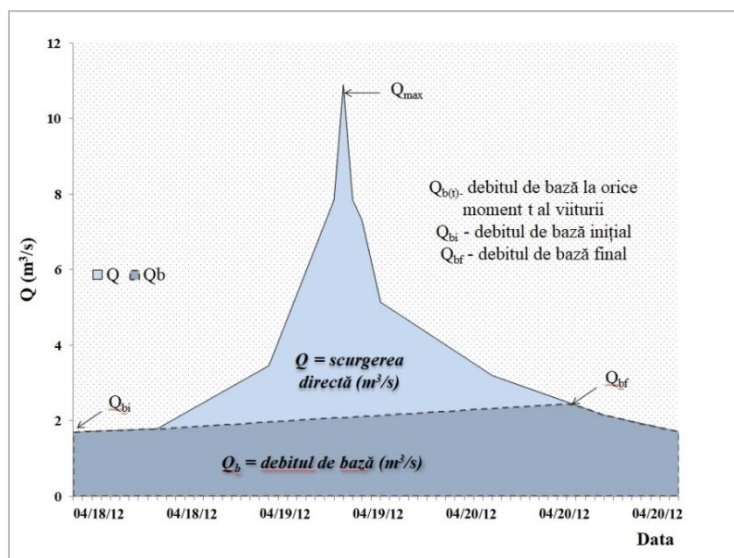


Figura 5. Reprezentare grafică a metodei separării scurgerii de bază.
Exemplu pentru evenimentul înregistrat la s.h. Teliu în luna aprilie, 2012
(adaptare după Strapazan et al., 2023a)

5.1.2. Metoda tabulară a determinării CN din tabelele NRCS (TAB)

Parametrul CN depinde atât de modul de utilizare al terenurilor, cât și de grupele hidrologice de soluri (HSG). Din acest punct de vedere solurile se clasifică în 4 grupe hidrologice (A, B, C și D), în funcție de rata de infiltrare a apei (USDA-NRCS, 1986).

Întrucât această etapă abordează problema dintr-o perspectivă a parametrilor concentrați, a fost necesară generarea unui CN mediu la nivel de bazin, conform ecuației recomandate de USACE (2000):

$$CN_w = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i A_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

Unde: CN_w – valoarea CN mediată la nivel de bazin; CN_i – valoarea CN pentru fiecare combinație sol-utilizare; A_i – suprafața aferentă fiecărei combinații sol-utilizare; n – numărul de combinații sol-utilizare.

Obținerea valorilor CN medii ponderate s-a realizat pe baza datelor CLC din anii 2006, 2012 și 2018, scopul fiind de a realiza o analiză preliminară a diferențelor în valorile

CN care pot rezulta din baze de date diferite. Diferențele rezultate au fost extrem de mici, între 0.2 (la nivelul b. h. Teliu și Ozunca) și 0.9 (în cazul b.h. Timiș). Din acest motiv și ținând cont de actualizările seturilor de date CLC, în 2018 fiind folosite pentru prima oară datele consistente și de calitate superioară oferite de sateliții Sentinel-2 aferenți Programului european Copernicus (Cole et al., 2022), valorile CN stabilite și folosite în cadrul acestui studiu, sunt cele care au la bază modul de utilizare al terenurilor extras din baza de date CLC 2018 (Strapazan et al., 2023a). Pentru a reduce timpul de obținere al valorilor, procesul a fost automatizat cu ajutorul Model Builder și a funcțiilor Hec-GeoHMS (Figura 6).

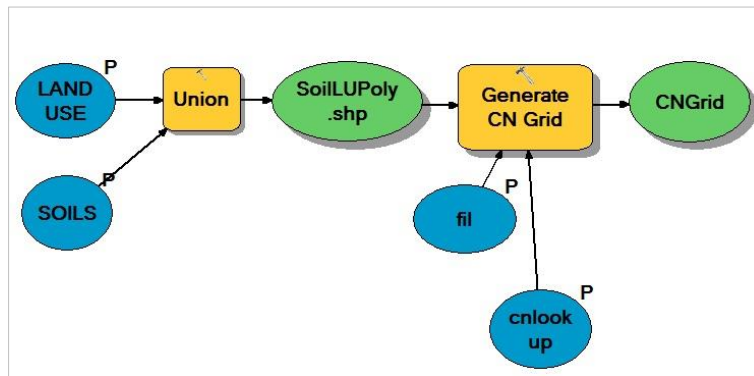


Figura 6. Modelul pentru obținerea CN cu ajutorul funcțiilor HEC-GeoHMS
(Strapazan & Petruț, 2017)

În cadrul prezentului studiu, pentru aplicarea clasică a metodei NRCS-CN care prevede convertirea valorilor CN_{II} , s-a ținut cont de efectele AMC printr-o analiză preliminară prin care evenimentele $P-Q$ au fost clasificate, atât pe baza precipitațiilor specifice celor 5 zile anterioare acestora, cât și în funcție de cantitatea acumulată pe 10 zile. Astfel s-a realizat o analiză pe baza coeficientului de determinare (R^2) cu scopul de a vedea dacă clasele AMC justifică creșterea stratului scurs în raport cu precipitațiile (Strapazan et al, 2023a).

Rezultatele au arătat că variația stratului scurs pare a fi explicată într-o proporție mai mare de cantitatea de precipitații dacă se iau în considerare 10 zile anterioare evenimentelor (Figura 7). Ajustările CN_{II} la condiții anterioare uscate sau umede, s-au obținut pe baza ecuațiilor recomandate de Mishra et al. (2008), aplicate și în alte studii precum Ajmal et al. (2016):

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.2754 - 0.012754CN_{II}} \quad (4)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.430 - 0.0057CN_{II}} \quad (5)$$

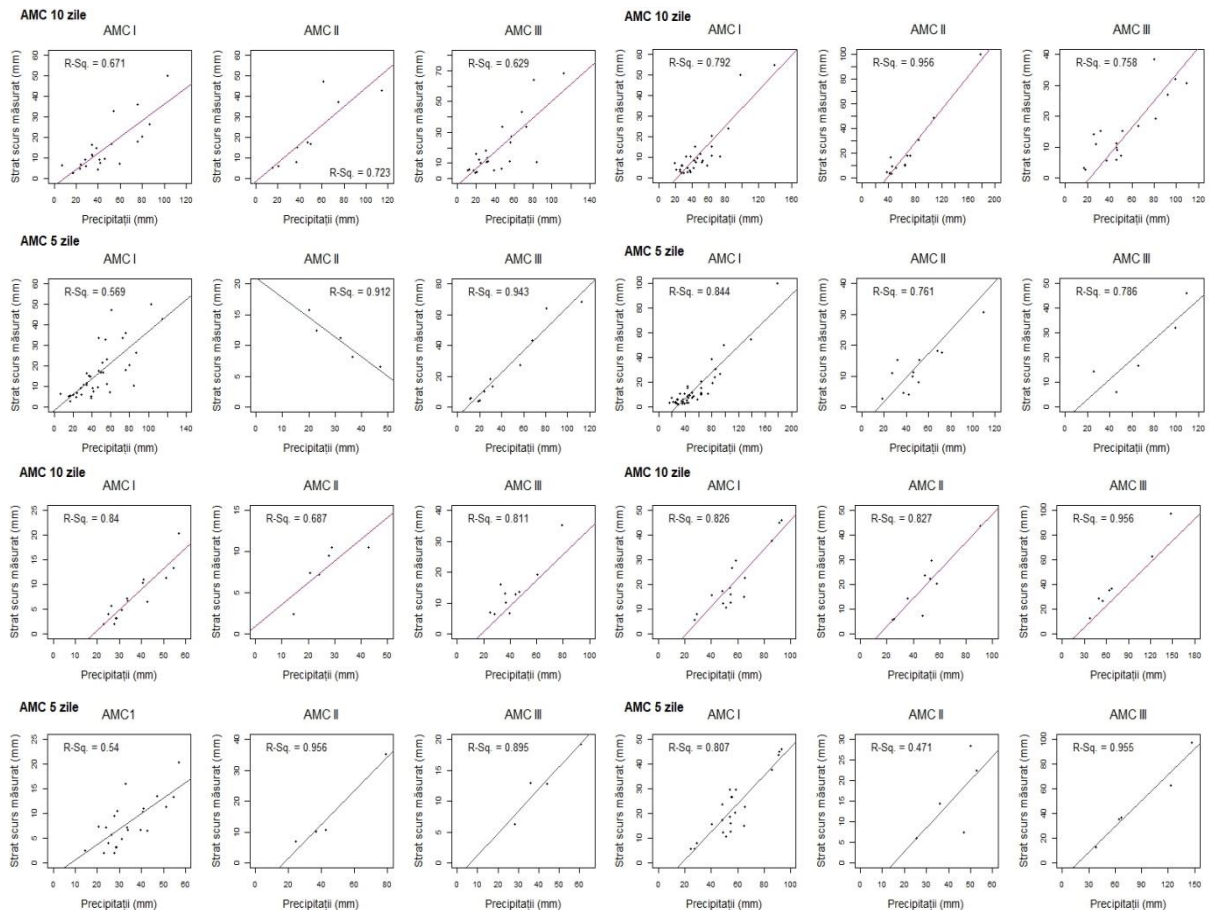


Figura 7. Relația ploaie-scurgere în funcție de AMC-5 zile și AMC-10 zile pentru: a) b.h. Teliu, b) b.h. Timiș, c) b.h. Ozunca și d) b.h. Covasna (adaptare după Strapazan et al., 2023a)

5.1.3. Metode bazate pe relația ploaie-scurgere

Atunci când sunt disponibile date măsurate la stațiile hidrometrice și meteorologice, valoarea parametrului S pentru $\lambda = 0.2$ se poate determina prin intermediul Ecuației (1) [Cap.2] și o serie de calcule algebrice (Hawkins, 1993), iar prin substituire se pot determina direct valorile CN:

$$S_{0.2} = 5 \left[P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{0.5} \right] \quad (6)$$

$$CN_{0.2} = \frac{25400}{254 + 5(P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ})} \quad (7)$$

Pentru convertirea valorilor CN și S pentru $\lambda = 0.05$ direct din rezultatele aferente $\lambda = 0.2$, Woodward et al. (2003) sugerează relații de forma:

$$CN_{0.05} = \frac{100}{1.879(100/CN_{0.2} - 1)^{1.15} + 1} \quad (8)$$

$$S_{0.05} = 0.8187S_{0.2}^{1.15} \quad (9)$$

Având în vedere $\lambda = 0.05$, pe baza unor calcule algebrice se poate determina direct $CN_{0.05}$ (Ajmal et al., 2016):

$$CN_{0.05} = \frac{100}{1 + 0.0393701 \left[2P + 19Q - (361Q^2 + 80PQ)^{0.5} \right]} \quad (10)$$

Metoda medianei (MD a stabilirii valorilor CN)

Valorile CN și S au fost determinate pe baza Ecuțiilor (1) și (6), urmând a fi convertit indexul CN pentru $\lambda = 0,05$ prin intermediul Ecuției (8). În cele din urmă s-a extras mediana valorilor CN pentru analizele ulterioare (Strapazan et al., 2023a).

Metoda mediei geometrice (GM a stabilirii valorilor CN)

Metoda s-a aplicat prin utilizarea logaritmului S, determinat anterior prin intermediul Ecuției (6), calculul mediei aritmetice aferente $\log(S)$ și ulterior, al mediei geometrice corespunzătoare S, $10^{\log S}$, valorile CN fiind estimate în cele din urmă astfel (Tedela et al., 2012, Ajmal et al., 2016):

$$CN_{GM} = \frac{25400}{(254 + 10^{\log S})} \quad (11)$$

Metoda mediei aritmetice (AM)

Fiind tot o metodă a tendinței centrale, aceasta s-a determinat în primul rând prin aplicarea Ecuțiilor (2) și (6) de calcul a valorilor CN și S și apoi prin extragerea valorii CN reprezentative din șirul de date (Strapazan et al., 2023a).

Metoda asymptotic fitting (AF-aproximare asimptotică)

Metoda consideră indexul CN ca valoare limită asimptotică atunci când P tinde către ∞ , legătura dintre CN și P fiind reprezentată grafic, iar valoarea asimptotică CN aferentă cantităților mari de precipitații fiind stabilită ca valoare finală, reprezentativă la nivel de bazin (Cao et al. 2011). Pentru aplicarea acestei metode, s-au folosit toate datele P-Q măsurate la stații, însă sortate separat, în ordine descrescătoare, valorile CN rezultate din Ecuțiile (2) și

(6) corespunzând fiecărei perechi $P-Q$ de date ordonate independent (metoda AF_0). Metoda, de asemenea, a fost aplicată și asupra șirului de date naturale, neordonate (AF_N).

Prin reprezentarea legăturii $P-CN$, Hawkins (1993) a identificat 3 tipuri de situații: situația de complacere, situația standard și situația violentă. În timp ce situația de complacere se referă la faptul că indexul CN nu tinde către o valoare asimptotică, funcția alternativă putând fi una mai degrabă de tip liniar, răspunsul standard al bazinului hidrografic presupune tendința valorilor CN de a scădea la cantități mici de precipitații, raportul apropiindu-se de valori constante pe măsură ce crește cantitatea de precipitații, situație pe care Hawkins (1993) a descris-o astfel:

$$CN(P) = CN_{\infty} + (100 - CN_{\infty}) \exp(-k_1 P) \quad (12)$$

Unde:

CN_{∞} - constantă pe măsură ce $P \rightarrow \infty$;

k_1 - constantă de ajustare.

Răspunsul violent al unui bazin se referă la creșterea bruscă a valorilor CN urmată de tendința apropierii de o valoare constantă odată cu creșterea precipitațiilor (Hawkins, 1993) și se exprimă astfel:

$$CN(P) = CN_{\infty} [1 - \exp(-k_2 P)] \quad (13)$$

Unde: k_2 - constantă de ajustare.

5.1.4. Analize statistice pentru evaluarea performanței metodelor. Sistemul R.

Evaluarea performanței metodelor utilizate s-a realizat cu ajutorul soft-ului R (v.4.2.1.), acesta fiind disponibil în mod gratuit sub licența GNU- General Public Licence (R Core Team, 2022). Optimizarea valorilor CN_{∞} și k în vederea aplicării metodei AF, s-a realizat prin aproximarea Ecuației (12), utilizând funcția `nlsLM` aferentă pachetului `minpack.lm` care are la bază algoritmul Levenberg-Marquardt (Elzhov et al., 2016), iar rularea liniilor de cod s-a realizat prin intermediul RStudio (RStudio Team, 2022).

Performanța metodelor utilizate de a determina valoarea CN pentru estimarea stratului scurs, s-a analizat prin compararea acestuia cu stratul de apă scurs măsurat la stații. Pentru a evalua concordanța dintre stratul scurs estimat și cel măsurat, analizele aplicate au avut la bază o serie de indicatori statistici ai gradului de potrivire, respectiv eroarea medie procentuală ($PBIAS$), R^2 , eroarea rădăcinii medii pătrate ($RMSE$), coeficientul eficienței/Nash-Sutcliffe (NSE) și indexul de concordanță (d). Criteriile de evaluare în cazul de față sunt cele

propuse de Moriasi et al. (2007), Ritter și Munoz-Carpena (2013), Diaz-Ramirez et al. (2011), iar calculele s-au realizat cu ajutorul pachetului hydroGOF (hydrological goodness of fit) (Zambrano-Bigiarini, 2020).

5.2. Metodologie GIS de reprezentare spațială a precipitațiilor pe baza estimărilor radar

Pentru reprezentarea spațială a precipitațiilor și integrarea lor, atât în modelul cu parametri concentrați (MIKE), cât și în cel distribuit din GIS, a fost utilizată metoda de ajustare a bias-ului prin înlăturarea diferenței medii dintre estimările radar și precipitațiile înregistrate (Steiner et al., 1999; Zhang & Srinivasan, 2010):

$$R_{adj} = B \cdot R$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i)/n}{\sum_{i=1}^n R(x_i)/n} \quad (14)$$

Unde:

R_{adj} [mm/h] – valorile rezultate prin ajustarea datelor radar;

R [mm/h] – valorile pixelilor radar;

B – factorul de ajustare al bias-ului;

$Z(x_i)$ – valorile masurate estimate la locatia x_i , $i = 1, 2, \dots, n$;

$R(x_i)$ – valorile radar estimate la locatia x_i , $i = 1, 2, \dots, n$.

Pentru zona analizată s-au obținut și utilizat date provenite de la radarul meteorologic amplasat la Bobohalma, jud. Mureș.

5.3. Modelul cu parametri concentrați. Modelarea viiturilor cu ajutorul MIKE HYDRO River-UHM

În cadrul studiului de față s-a utilizat softul MIKE Zero 2021- MIKE HYDRO River cu licență tip student furnizată cu sprijinul organizației DHI România. Într-o primă etapă au fost aplicate succesiv 3 metode de calcul a pierderilor integrate modulului RR-UHM, respectiv metoda NRCS-CN (regăsită sub denumirea veche de *SCS* în cadrul sistemului de modelare), metoda *SCS* generalizată (*SCS generalised*) și metoda pierderilor proporționale (*Proportional loss*) pentru calibrarea și validarea modelului, fiind ales ca și studiu de caz b.h. Teliu. A doua etapă presupune un studiu mai amplu corelat cu cercetările efectuate în vederea stabilirii valorilor CN optime la nivelul întregului areal analizat, atât prin procedura clasică de

utilizare a tabelelor din literatură, cât și prin cea bazată pe relația ploaie-scurgere determinată din măsurători. Scopul a fost de a valida, în același timp, aplicabilitatea parametrului CN, atunci când este utilizat pentru estimarea hidrografelor de viitură. Aplicațiile în acest caz, s-au realizat asupra tuturor bazinilor cercetate și se referă doar la metoda SCS incorporată modulului, fluxul de lucru putând fi observat în Figura 8.

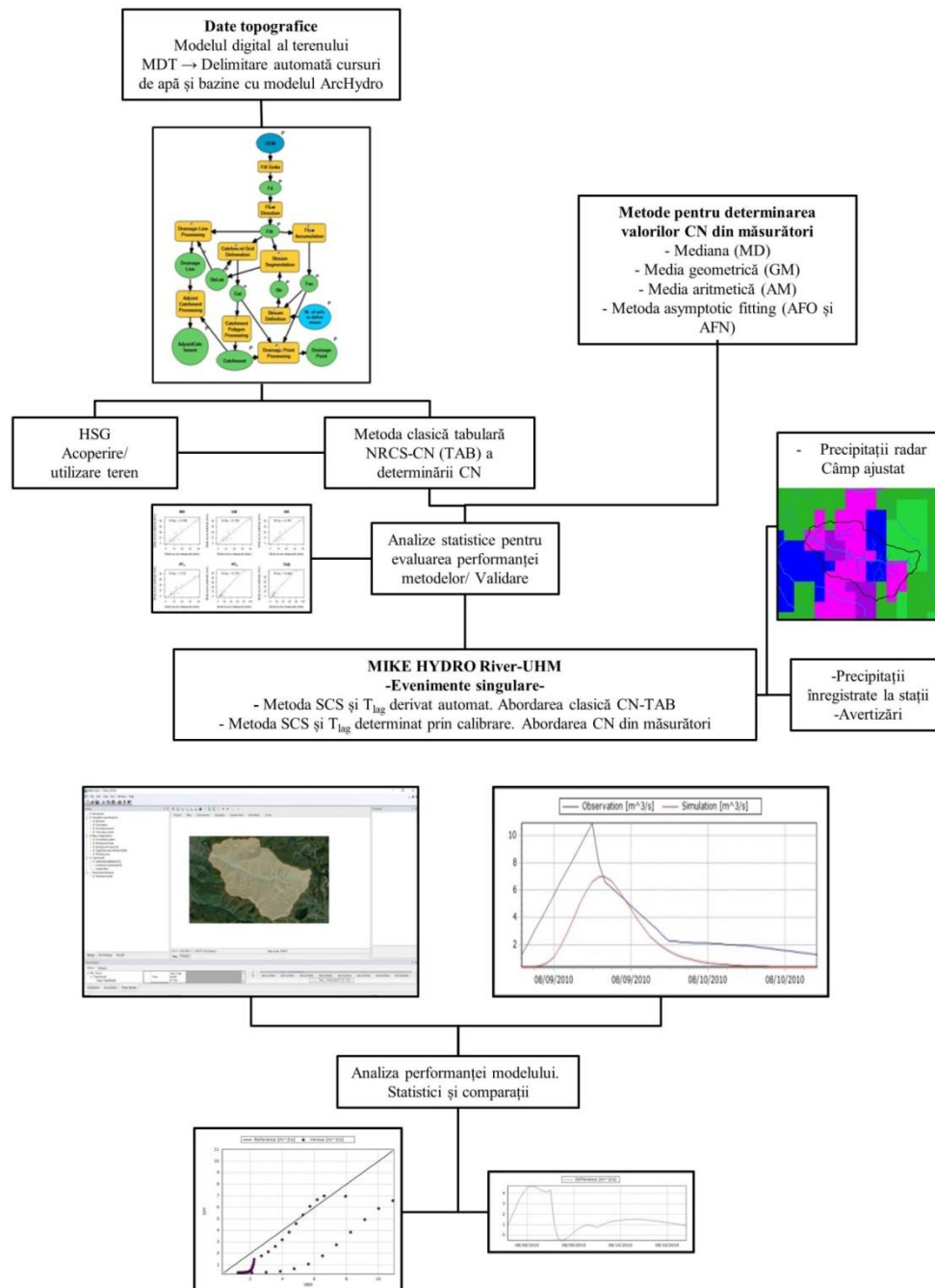


Figura 8. Organigrama metodologiei urmate pentru modelarea viiturilor cu MIKE HYDRO River-UHM

5.4. Modelul cu parametri semi-distribuiți. Modelarea viiturilor cu ajutorul HEC-HMS.

Un alt scop al lucrării a fost acela de a evalua aplicabilitatea unui model de tip semi-distribuit în simularea undelor de viitură cu metoda NRCS-CN. În acest sens s-a utilizat sistemul de modelare HEC-HMS, aplicarea realizându-se doar la nivelul b.h. Covasna și Ozunca, având în vedere existența unor afluenți mai importanți, care aduc un aport de apă însemnat, având în general scurgere permanentă, spre deosebire de celelalte bazine în care cea mai mare parte din afluenți au o scurgere cu caracter temporar și lungimi reduse ale văilor. Astfel, baza de date obținută cu ajutorul modulului ArcHydro referitoare la reprezentarea fizică a bazinelor a fost convertită într-un proiect HEC-HMS cu ajutorul extensiei Hec-GeoHMS pentru obținerea parametrilor necesari rulării modelului în vederea estimării hidrografelor de viitură. Cercetarea prevede, de asemenea, o abordare comparativă la nivelul b.h. Covasna a două metode de transformare a precipitațiilor în debite, respectiv metoda SCS și cea a hidrografului Snyder (Strapazan & Petruț, 2017).

5.5. Modelul cu parametri distribuiți. Modelarea viiturilor cu ajutorul Modelului de la Cluj.

Modelul de la Cluj, dezvoltat de echipa de cercetare din cadrul Facultății de Geografie are la bază un algoritm GIS realizat pe baza ecuației NRCS-CN, precum și a formulei raționale, concretizat într-un toolbox ArcGIS, alcătuit din patru module: estimarea stratului disponibil pentru scurgere, obținerea coeficientului de scurgere, determinarea timpului de răspuns al bazinului, precum și modulul pentru calculul debitelor (Crăciun, 2011; Gyori, 2013). Întreg procesul pentru determinarea hidrografului de viitură este reprezentat de modulele amintite, o etapă de calcul a vitezelor de scurgere în SAGA GIS, precum și 5 scripturi create de Domnița (2012) în MATLAB (Gyori, 2013). În procesul aplicat la nivelul bazinelor, ne-am rezumat la metoda NRCS-CN pentru extragerea și calculul debitelor maxime, la fel ca și în studiul întocmit de Haidu și Strapazan (2019). Calculul stratului de apă scurs la nivel de pixel, în cazul de față a avut la bază o formulă utilizată în cadrul modelului implementat de Crăciun (2011), care ia în calcul direct și infiltrația cumulativă a apei (Musy & Higy, 1998):

$$Q = P - I_a - F \quad (15)$$

Unde:

Q – stratul de apă scurs (mm);

P – cantitatea de precipitații (mm);

I_a – abstracțiile inițiale (mm);

F – infiltrația cumulativă (mm).

Modelul a fost completat ulterior prin integrarea în calcul a pantei (Crăciun, 2011):

$$F = \frac{S \cdot (P - I_a)}{P - I_a + S} \cdot (1 - I_b / 100) \quad (16)$$

Unde:

I_b – panta (grade).

Singurul instrument de care majoritatea produselor GIS nu dispun, este cel de obținere a vitezelor de scurgere, motiv pentru care modelul original apelează la SAGA GIS-algoritmul *Isochrones Variable Speed* pentru această etapă (Domnița, 2012). Pentru rularea script-urilor am utilizat programul MATLAB v.9.14.0 (R2023a) Update 2, descărcat de pe website-ul companiei MathWorks Inc. (The MathWorks Inc., 2023), pe baza unei licențe de tip DEMO/Trial. În cazul de față am implementat un nou algoritm de calcul al vitezelor în ArcGIS 10, valorile CN fiind calibrate prin intermediul unui alt algoritm dezvoltat în acest sens, organigrama metodologiei urmate putând fi observată în Figura 9.

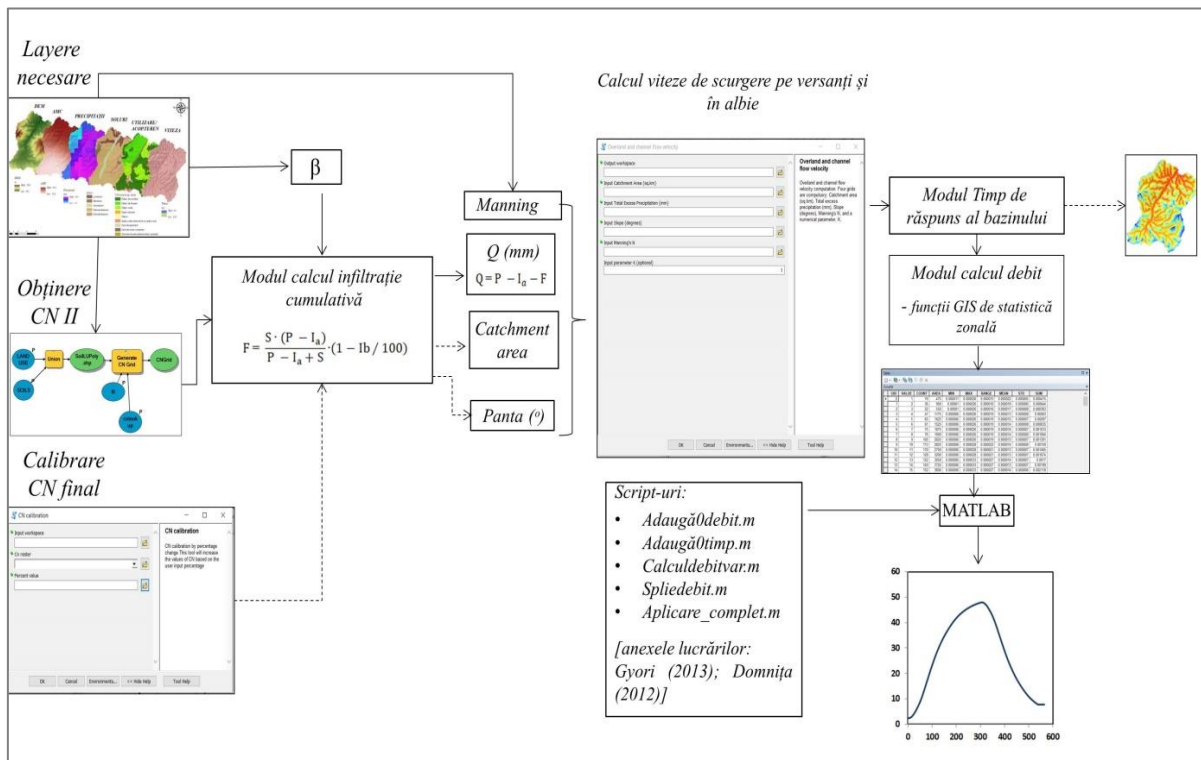


Figura 9. Organigrama metodologiei urmate pentru obținerea hidrografului simulat

5.5.1. Implementarea unui algoritm GIS de calcul a vitezelor folosind Python

Atunci când rularea unui model hidrologic implică, de exemplu, importul și exportul de date necesare acestuia, dintr-un pachet software în altul, nu numai că erorile sunt dese și timpul de lucru îndelungat, dar câteodată se află și departe de înțelegerea utilizatorului, a întregului proces căruia acesta trebuie să îi facă față. Prin urmare, mi-am propus implementarea unui nou algoritm de calcul al vitezelor direct în ArcGIS, prin intermediul unui script creat cu ajutorul limbajului Python și al pachetului ArcPy, ulterior acesta constituindu-se într-un tool de sine stătător ce poate fi pus la îndemâna oricui dorește utilizarea modelului cu parametri distribuiți.

Ecuatia pentru estimarea vitezei de scurgere a apei pe versanți, este similară celei integrate în SAGA GIS și are la bază abordarea unei cinematice în combinație cu metoda lui Manning (Al-Smadi, 1998; Olaya, 2004a, 2004b):

$$V_o = \frac{(i_e \cdot x)^{0.4} \cdot S_o^{0.3}}{n^{0.6}} \quad (17)$$

Unde:

V_o – viteza de scurgere pe versanți (m/s);

i_e – precipitația netă, respectiv stratul disponibil pentru scurgere (m/s);

n – coeficientul de rugozitate Manning;

S – panta de scurgere a apei (m/m);

x – distanța parcursă de apă conform direcției de drenaj (m).

În ceea ce privește viteza de scurgere în albie, metoda aplicată se bazează pe combinarea ecuației Manning cu cea a continuității, având următoarea formă (Du et al, 2009; Tsanakas et al., 2016):

$$V_c = K \cdot S_o^{3/8} \cdot Q_{ch}^{1/4} \cdot n^{-3/4} \quad (34)$$

Unde:

V_c – viteza de scurgere în albie (m/s);

K – coeficient determinat prin calibrarea modelului;

S – panta de scurgere a apei (m/m);

Q_{ch} – debitul (m^3/s);

n – coeficientul de rugozitate Manning.

În acest scop, a fost dezvoltat un script de sine stătător care a fost rulat în primul rând pentru verificare în PyScripter, ulterior, acesta fiind convertit într-un tool ArcGIS (Figura 10).

Parametrii necesari rulării (layere raster) au fost determinați anterior prin intermediul modelului GIS: precipitația netă (mm/h), suprafața de acumulare a apei (km²); panta (grade); Manning; coeficientul K.

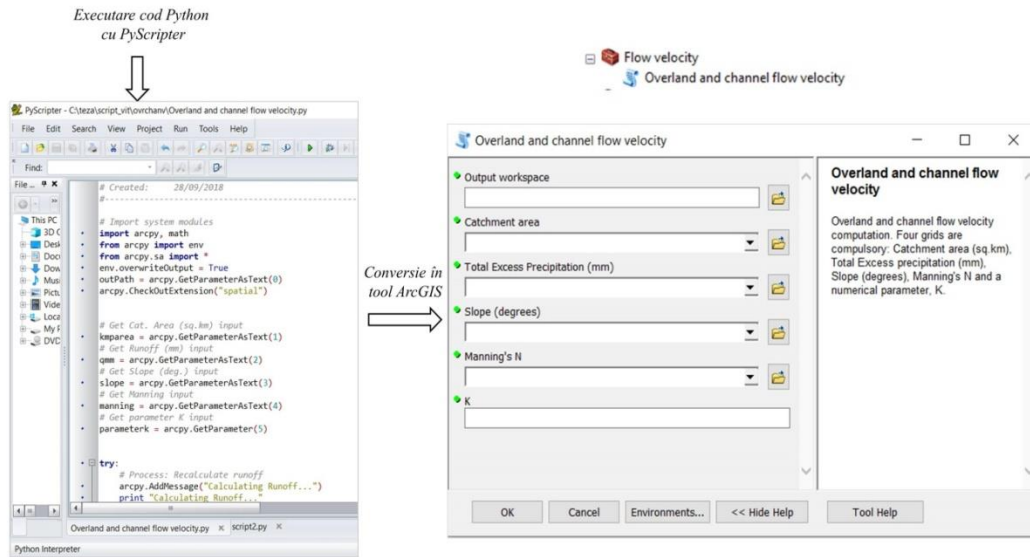


Figura 10. Rularea script-ului în PyScripter și interfața grafică a tool-ului GIS creat pentru calculul vitezelor de scurgere

5.5.2. Implementarea unui algoritm GIS de calibrare a parametrului CN

Scopul principal al aplicării acestui model de tip distribuit, a fost de a-i analiza utilitatea în estimarea hidrografelor de viitură, în raport cu rezultatele oferite de cel cu parametri concentrați. Pe de altă parte, aplicarea acestui model a avut ca scop secundar, determinarea compatibilității lui cu algoritmul de calcul al vitezelor de scurgere. Astfel, procedura urmată în cazul de față este una care se află în strânsă legătură cu rezultatele generate de modelul cu parametri concentrați, fiind pusă în aplicare ulterior primei.

În acest sens, pe baza ipotezei conform căreia rezultate mult mai bune în simularea hidrografelor de viitură ar putea fi obținute din valori CN determinate din relația ploaie-scurgere, am implementat un algoritm GIS de calibrare a acestor valori obținute din modulul de calcul al infiltrației cumulative. Algoritmul, de data aceasta, este unul cu caracter simplist, ce are la bază modificarea procentuală a valorilor CN și determinarea noilor layere referitoare la CN calibrat și S pe baza căruia să se poată obține o infiltrație cumulativă determinată prin calibrare. Implementarea algoritmului s-a realizat prin intermediul unui script creat în aceeași manieră ca cel de calcul al vitezelor de scurgere. Chiar dacă acest algoritm se bazează pe

relații de calcul simple, crearea unui script și convertirea sa ulterioară într-un tool GIS automatizează procesul, astfel ducând la reducerea timpului necesar calibrării, precum și a determinării noului S (Figura 11).

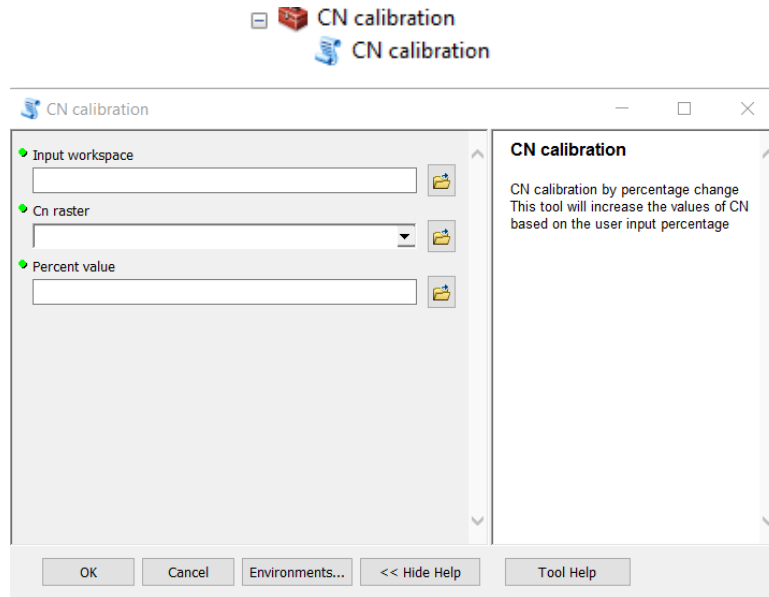


Figura 11. Interfața grafică a tool-ului GIS creat pentru calibrarea CN și determinarea S

6. REZULTATELE CERCETĂRILOR ȘI DISCUȚII

6.1. Aplicație în vederea determinării valorilor CN. Abordare comparativă între procedura clasică și cea bazată pe relația ploaie-scurgere

Tabelele 3 și 4 prezintă valorile reprezentative la nivel de bazin, extrase din tabelele NEH630 adaptate pentru țara noastră, respectiv cele calculate prin metodele bazate pe relația ploaie-scurgere, atât pentru $\lambda = 0.2$, cât și pentru $\lambda = 0.05$. Valorile CN obținute prin metodele tendinței centrale au fost mai mari decât în celelalte cazuri, valorile CN-AM (obținute prin metoda AM) fiind mai mici decât cele aferente GM, dar mai mari decât CN-MD (obținute prin metoda MD) pentru 2 din 4 bazine (b.h. Timiș și b.h. Ozunca), atât în cazul $\lambda = 0.2$, cât și pentru $\lambda = 0.05$, rezultate similare fiind obținute de Tedela et al. (2012), pentru 4 din cele 10 bazine forestiere, localizate în partea estică a Statelor Unite ale Americii (Strapazan et al., 2023a). Valorile CN-TAB (obținute prin metoda TAB) variază între 50,00 (b.h. Timiș) și 73,00 (b.h. Ozunca), b.h. Timiș prezentând cel mai mare grad de împădurire (92,4%) și b.h. Ozunca cel mai mic (55,5%). De altfel, valorile CN calculate prin metodele tendinței centrale nu înregistrează diferențe prea mari între bazine și metode, însă comparativ cu cele obținute

prin metoda TAB sunt semnificativ mai mari, rezultate similare fiind obținute și de Im et al. (2020) la nivelul a 6 bazine forestiere, experimentale din Coreea de Sud și Japonia.

Tabelul 3. Valorile CN determinate prin diferite metode la nivelul bazinelor pentru $\lambda = 0.2$ (după Strapazan et al., 2023a)

Bazin	MD	GM	AM	AF _O		AF _N		Comportament	TAB
				CN _{AF_O} (R ² , SE)	k (SE)	CN _{AF_N} (R ² , SE)	k (SE)		
Teliu	85.85	85.89	85.06	80.45 (0.94, 0.438)	0.034 (0.002)	70.00 (0.43, 7.228)	0.017 (0.007)	Standard	54.00
Timiș	76.52	79.55	77.99	71.98 (0.88, 0.442)	0.038 (0.002)	68.91 (0.51, 2.081)	0.029 (0.005)	Standard	50.00
Ozunca	83.12	84.29	83.69	79.58 (0.80, 0.664)	0.049 (0.004)	73.90 (0.43, 4.970)	0.030 (0.011)	Standard	73.00
Covasna	82.56	83.98	83.45	81.87 (0.23 0.883)	0.050 (0.011)	79.77 (0.19 2.311)	0.034 (0.011)	Standard	61.00

Tabelul 4. Valorile CN determinate prin diferite metode la nivelul bazinelor pentru $\lambda = 0.05$ (după Strapazan et al., 2023a)

Bazin	MD	GM	AM	AF _O		AF _N		Comportament	TAB
				CN _{AF_O} (R ² , SE)	k (SE)	CN _{AF_N} (R ² , SE)	k (SE)		
Teliu	80.88	80.89	79.81	75.61 (0.89, 0.524)	0.046 (0.003)	64.18 (0.33 7.504)	0.022 (0.009)	Standard	39.03
Timiș	66.96	71.43	69.67	63.91 (0.64, 0.476)	0.066 (0.005)	59.55 (0.30, 2.697)	0.042 (0.009)	Standard	34.74
Ozunca	75.27	77.19	76.36	73.84 (0.29, 0.687)	0.092 (0.013)	66.51 (0.24, 5.890)	0.042 (0.017)	Standard	62.56
Covasna	79.04	78.97	78.23	77.09 (0.03, 0.810)	0.103 (0.051)	75.26 (0.054, 2.470)	0.053 (0.025)	Standard	47.10

Analiza rezultatelor obținute prin metoda AF relevă faptul că toate cele 4 bazine hidrografice au un comportament standard, tiparele fiind observate mai ales în cazul șirurilor de valori ordonate (Figura 12), însă situația este caracteristică și seriilor neordonate pentru ambii coeficienți $\lambda = 0.2$, respectiv 0.05 (Figura 13). Acest tip de comportament se pare că se aplică, în general, la nivel global, rezultatele obținute fiind în acord cu constatările făcute de alți autori, precum Hawkins (1993), Tedela et al. (2012), D'Asaro et al. (2014), Kowalik și Walega (2015), Ajmal et al. (2016), pentru cea mai mare parte din bazinele analizate.

Din punct de vedere al rezultatelor obținute în urma estimării stratului de apă scurs pe baza valorilor CN determinate prin metodele prezentate, indicatorii statistici au evidențiat încă o dată similaritatea metodelor tendinței centrale.

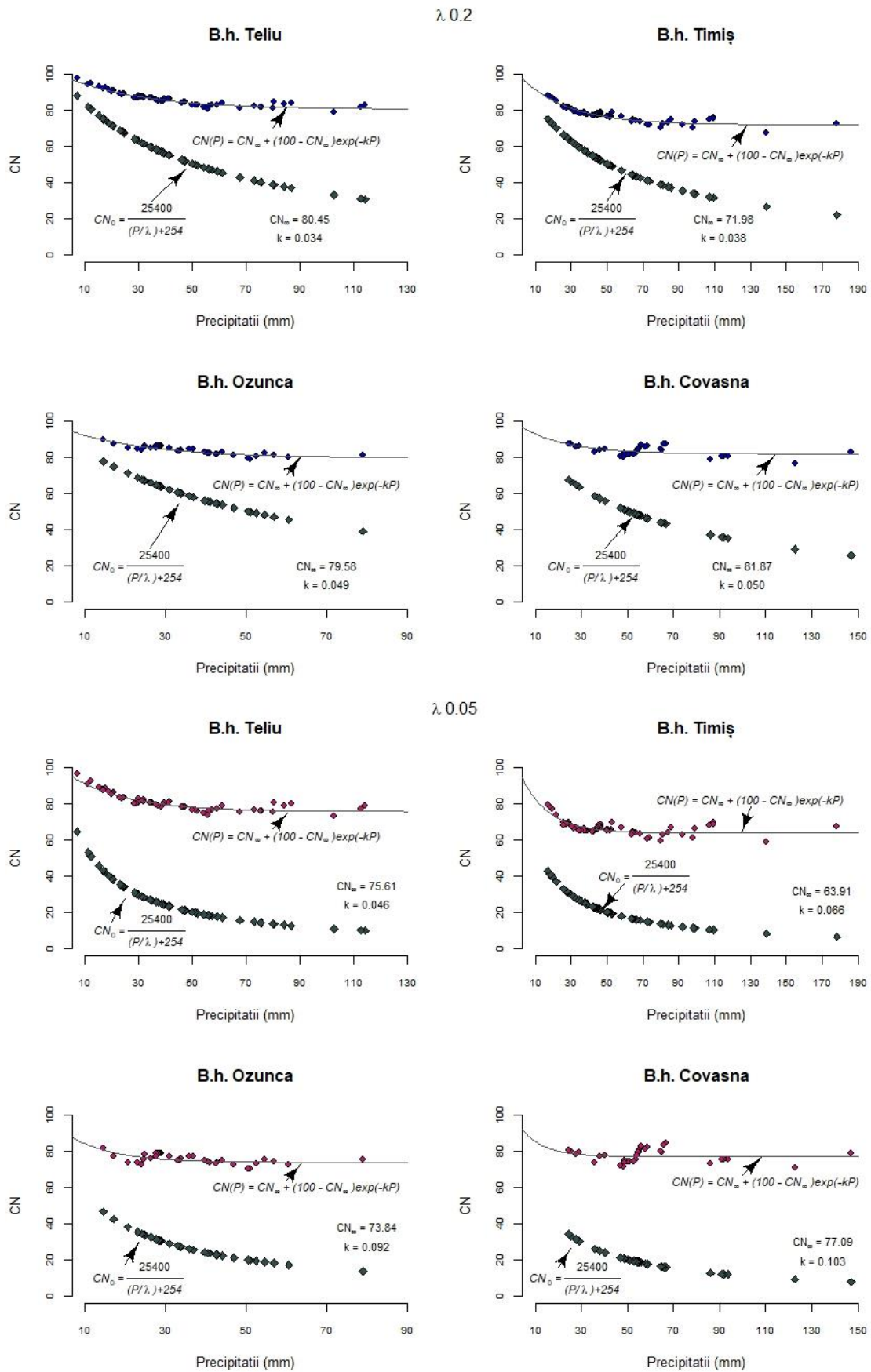


Figura 12. $CN-AF_0$, respectiv valorile CN determinate pentru șirul de perechi $P-Q$ ordonate prin metoda de ajustare asimptotică pentru $\lambda = 0.2$ și $\lambda = 0.05$ (adaptare după Strapazan et al., 2023a)

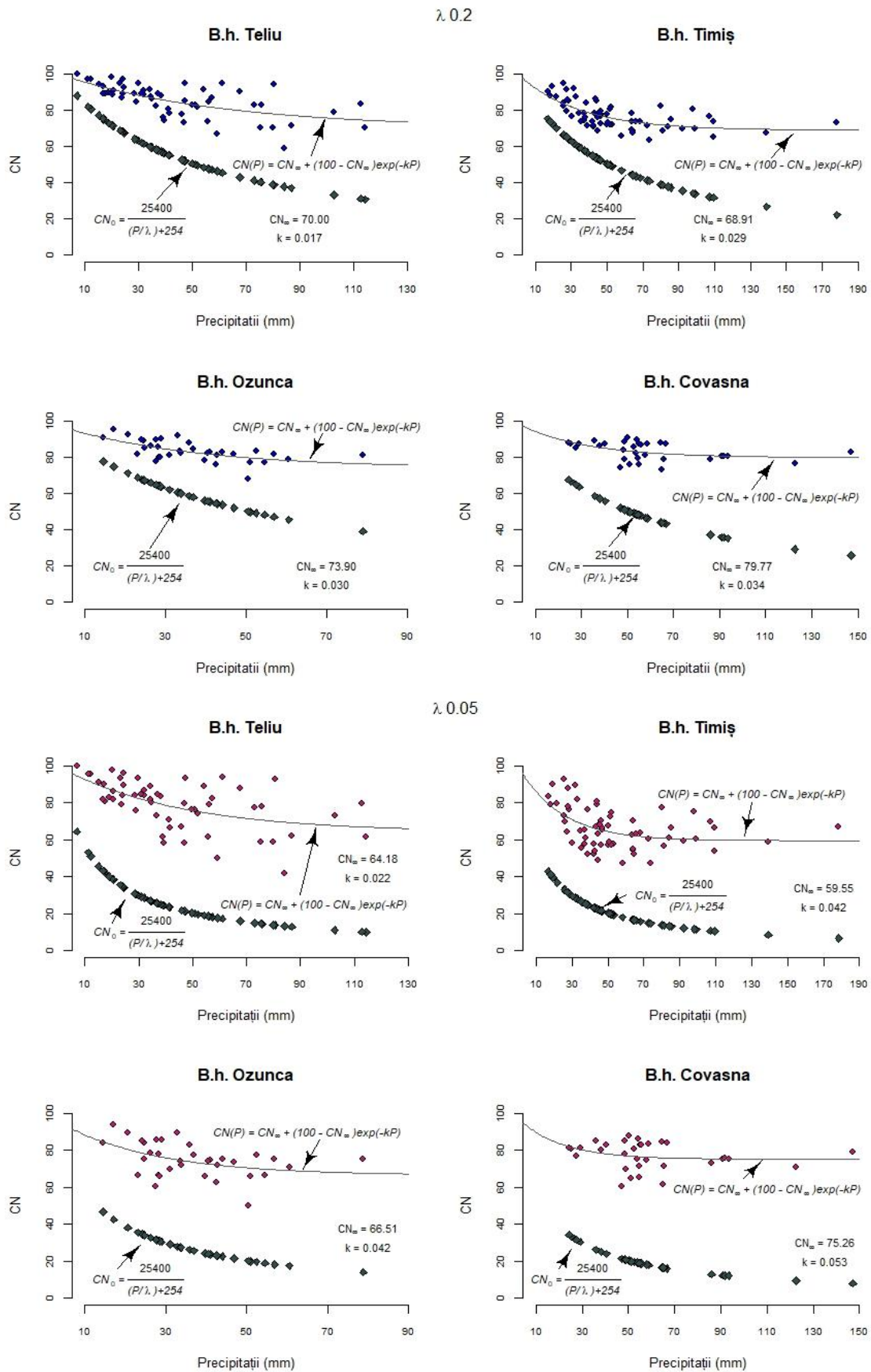


Figura 13. $CN-AF_N$, respectiv valorile CN determinate pentru șirul de perechi $P-Q$ neordonate prin metoda de ajustare asimptotică pentru $\lambda = 0.2$ și $\lambda = 0.05$ (adaptare după Strapazan et al., 2023a)

Diagrama boxplot sau graficul „cutie” (Figura 14) relevă de asemenea, modul similar de distribuire a valorilor calculate prin metodele tendinței centrale, cel mai mic interval al seturilor de date aparținând metodei TAB. Luând în considerare criteriile recomandate de Moriasi et al. (2007), s-a observat faptul că în majoritatea cazurilor modelele sunt satisfăcătoare pentru NSE și $R^2 > 0.50$, excepție făcând metodele TAB și AF_N care de altfel prezintă și cele mai mari valori $RMSE$ și în majoritatea cazurilor valori $PBIAS$ care nu se încadrează în intervalul $\pm 25\%$. Dacă clasificăm rezultatele în funcție de criteriile recomandate de Diaz-Ramirez et al. (2011), reiese că performanța metodelor tendinței centrale este bună pentru b.h. Teliu și Ozunca și foarte bună pentru b.h. Timiș și Covasna. Cu toate că studiul a pus în evidență o similaritate a rezultatelor obținute prin aplicarea metodelor tendinței centrale, rezultate relativ apropiate fiind obținute și prin metoda AF_O , există mici diferențe în sensul că au fost determinate valori mai adecvate pentru $\lambda = 0.05$ remarcându-se metoda MD pentru bazinele cu suprafețe mai mari, respectiv metoda AM pentru cele cu suprafețele mai mici (Strapazan et al., 2023a).

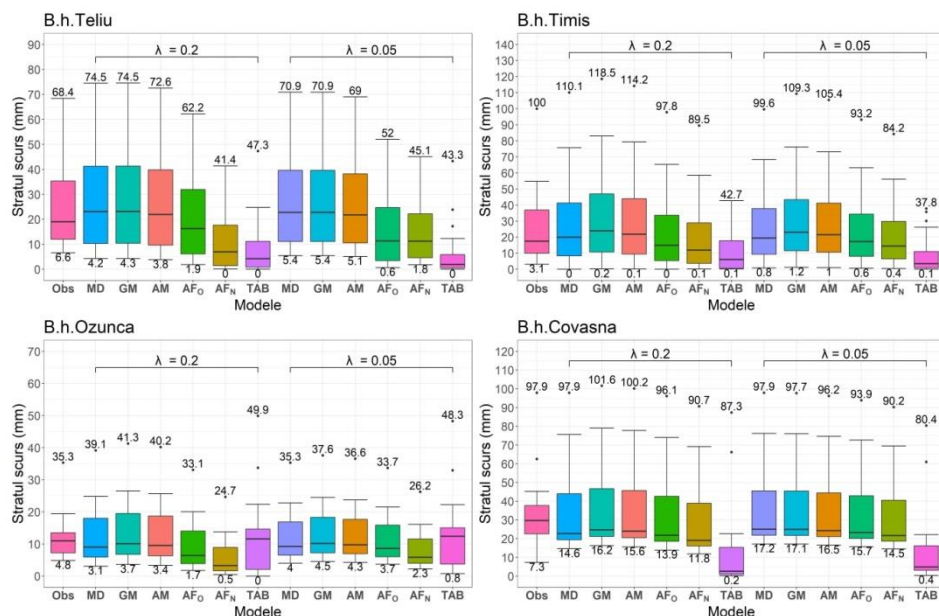


Figura 14. Distribuția valorilor stratului scurs estimat la nivelul bazinelor prin metodele MD, GM, AM, AF_O , AF_N și TAB, în raport cu stratul scurs măsurat (Obs), pentru $\lambda = 0.2$ și $\lambda = 0.05$ (adaptare după Strapazan et al., 2023a).

În urma studiului întreprins anterior, am trecut la analiza seriei de date complete pentru a vedea dacă se poate determina o distribuție a evenimentelor în funcție de percentilele CN. Aceste analize s-au realizat pentru rezultatele aferente $\lambda = 0.2$. În cazul de față clasificarea acestora s-a efectuat direct pe baza percentilelor CN și a valorilor R^2 rezultate

pentru fiecare clasă. Evenimentele pentru care $P < 25.4$ mm și $P/S < 0.46$ au fost omise din șirul de date. Clasificarea care a determinat cele mai mari valori R^2 pentru b.h. Teliu și Covasna corespunde percentilelor 80 și 20 ale CN, iar pentru b.h. Timiș și Ozunca clasificarea s-a realizat în funcție de percentilele 78 și 22 acestea fiind considerate limitele reale pentru AMC III și I.

6.2. Spațializarea precipitațiilor pe baza informațiilor radar și a datelor măsurate în teren.

S-au folosit o serie de informații provenite de la radarul meteorologic amplasat la Bobohalma. Mai exact, scopul a fost, în funcție de datele avute la dispoziție, de a calibra timpul de întârziere în cadrul proceselor de simulare a hidrografelor de viitură corespunzătoare sezonului de vegetație. S-a plecat, astfel, de la ipoteza că cea mai bună estimare a parametrilor (timpul de întârziere în cazul de față, valorile CN fiind determinate prin metodele discutate anterior) pentru modelarea viiturilor se realizează pe baza datelor referitoare la precipitații de înaltă rezoluție temporală (acumulări pe cel puțin 3 ore, sau chiar o oră). Ulterior, datele au fost folosite și pentru aplicarea modelului cu parametri distribuiți în vederea estimării hidrografelor de viitură. Dispunând de acumulări orare ca valori medii ale claselor asociate algoritmului radar, datele au fost procesate spre a corespunde frecvenței înregistrărilor de la stații, în scopul prelucrării și corecției pe baza observațiilor. Verificarea corecției câmpului de precipitații estimat de radar s-a realizat prin intermediul valorilor R^2 care variază între 0.90 și 0.98 la nivelul bazinelor (Tabelul 5).

Tabelul 5. Informații referitoare la datele utilizate pentru corecția estimărilor radar

Bazin hidrografic	Stații meteorologice	Stații hidrometrice	Perioada	Acumulări	R^2 obținut în urma ajustării
Teliu	Întorsura Buzăului	Teliu	29.06-01.07.2018	3, 6, 12 h	0.97
Timiș	Predeal, Vf. Omu, Brașov-Ghimbav	Dâmbu Morii, Râșnov, Babarunca	01-03 08.2010	24 h	0.98
Ozunca	Miercurea Ciuc	Bățanii Mari, Micfalău	07-08.05 2005	12 h	0.90
Covasna	Întorsura Buzăului, Târgu Secuiesc, Sfântu Gheorghe, Lăcăuți	Covasna	01-03.08 2010	12 h	0.90

6.3. Abordare comparativă a metodelor aferente modulului UHM-MIKE HYDRO River cu aplicații la nivelul bazinului Teliu.

Prima parte a studiului axat pe utilizarea modulului UHM-MIKE HYDRO River se referă la analiza comparativă a metodelor NRCS-CN (SCS pentru infiltrații), SCS generalised și Proportional loss de care dispune, la nivelul unui bazin montan mic, asupra căruia nu s-au realizat asemenea studii până în prezent. Din cadrul bazinelor analizate, Teliu este cel mai mic ca suprafață și se află într-o zonă care nu prezintă o densitate mare a secțiunilor de monitorizare, motiv pentru care a fost ales ca și studiu de caz în acest sens. Au fost selectate 3 evenimente pentru calibrarea și validarea modelului, ținând cont de perioada anului în care au avut loc (perioadă a manifestării ploilor de primăvară, aprilie-mai), precum și de valoarea debitului maxim înregistrat, viiturile depășind pragul de avertizare hidrologică ($H=100\text{cm}$), fiind printre cele mai mari evenimente din perioada analizată. Condițiile AMC, stabilite conform procedurii tradiționale NRCS-CN diferă, însă, între evenimentul din 2016 ales pentru calibrare (AMC I) și celelalte două din 2012 alese pentru validare (AMC III). Pentru aplicarea metodei SCS, calculele inițiale s-au bazat pe procedura clasică NRCS-CN de obținere a valorilor CN și T_{lag} , iar coeficientul λ necesar aplicării metodei SCS generalised, a fost stabilit prin calibrare în cazul de față, luând valori care au variat între 20 mm (însemnând 30% din S) și 15 mm (respectiv 23% din S). În cazul aplicării metodei pierderilor proporționale, estimarea coeficientului de scurgere s-a realizat automat, pe baza indicilor Frevert și a unui model GIS de calcul dezvoltat de Crăciun (2011) valorile rezultate variind între 0.12 și 0.45 în cadrul bazinului. Performanța metodelor s-a analizat printr-o serie de indici statistici precum *RMSE*, R^2 , *PEP*, *NSE* și *d* (Tabelul 6). Analizând datele observate, am ajuns la concluzia că un timp de întârziere între 8 și 12 ore ar fi potrivit pentru calibrare în urma faptului că au trecut aproximativ 12 ore de la intensitatea maximă a ploii și până la producerea vârfului viiturii. Valorile au fost surprinzător de bune, în final constatând că un T_{lag} de 10 ore și $CN = 79$, corespunzând AMC II, ar fi cei mai potriviți parametri în situația dată (Strapazan et al., 2021). Valoarea CN obținută prin calibrare în cazul de față este similară cu cea determinată prin metoda AF_0 și relativ apropiată de valorile CN obținute prin metodele tendinței centrale pe baza datelor măsurate în sezonul de vegetație la nivelul bazinului (Strapazan et al., 2023a), iar momentele de apariție ale debitelor maxime, de asemenea, coincid.

În cazul evenimentului din aprilie, 2012 cele mai bune rezultate din toate punctele de vedere, le-a prezentat metoda SCS (Tabelul 7). Deși cele mai bune rezultate le-a prezentat

metoda Proportional Loss pentru evenimentele din 2016 și mai, 2012, cea mai bine reprezentată formă a hidrografului de viitură a avut-o metoda SCS (Figura 15).

Tabelul 6. Statistici pentru diferite valori ale parametrilor corespunzători metodelor utilizate pentru calibrarea evenimentului din aprilie, 2016 (adaptare după Strapazan et al., 2021)

Metode utilizate	Parametri	RMSE	R ²	NSE	d
SCS	CN=54-80 AMC inițial=I T _{lag} derivat=1.19-2.32	4.66-6.64	0.14-0.41	<0.00	0.47-0.70
	CN=54-80 AMC=II T _{lag} derivat=1.15-2.32	5.28-7.90	0.12-0.47	<0.00-0.07	0.50-0.60
	CN=67-80 AMC=II T _{lag} definit=8-12	1.74-4.23	0.87-0.94	<0.00-0.88	0.70-0.96
	<u>Final:</u> CN=79, AMC=II, T _{lag} definit=10	1.77	0.94	0.87	0.96
SCS generalised	CN=79 λ inițial=15-20 T _{lag} definit=10	0.18-2.21	0.87-0.91	0.84-0.86	0.95
	CN=79 λ =15-20 T _{lag} definit=9	2.11-2.24	0.9-0.92	0.86	0.95
	<u>Final:</u> CN=79, λ=16, T _{lag} definit=9	2.20	0.92	0.86	0.95
Proportional loss	α=0.36-0.50 T _{lag} definit=10	2.09-2.45	0.87	0.75-0.85	0.94-0.95
	α=0.36-0.50 T _{lag} definit=12	1.42-1.78	0.94	0.81-0.92	0.96-0.98
	<u>Final:</u> α=0.45 T _{lag} definit=12	1.42	0.94	0.92	0.98

Tabelul 7. Statistici rezultate din validarea metodelor utilizate pe baza evenimentelor din lunile aprilie și mai, 2012 (adaptare după Strapazan et al., 2021)

Metode utilizate	Data	RMSE	R ²	NSE	d
SCS	18-21.04.2012	0.93	0.89	0.85	0.95
	29-31.05.2012	1.47	0.73	0.68	0.88
SCS generalised	18-21.04.2012	0.90	0.88	0.62	0.93
	29-31.05.2012	1.58	0.38	0.05	0.76
Proportional loss	18-21.04.2012	1.21	0.68	0.61	0.90
	29-31.05.2012	1.16	0.77	0.72	0.91

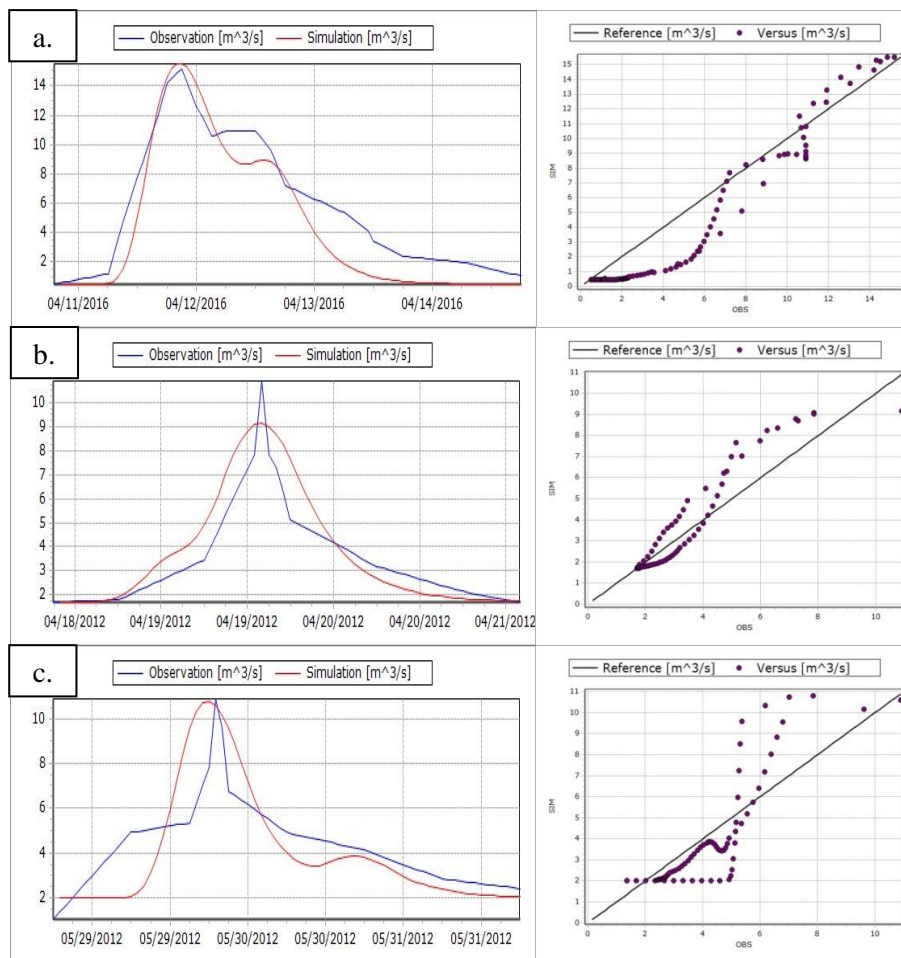


Figura 15. Comparație între hidrografele de viitură estimate cu metoda SCS și măsurate pentru evenimentele din: a) 2016, b) aprilie, 2012 și c) mai, 2012 (adaptare după Strapazan et al., 2021)

6.4. Aplicații ale metodei SCS din modulul UHM-MIKE HYDRO River și rezultate. Abordare comparativă a valorilor CN determinate pentru sezonul de vegetație.

Scopul principal în cazul de față este acela de a analiza, aplica și valida sistemul de modelare MIKE HYDRO River-UHM prin diferite abordări ale metodei NRCS-CN la nivelul celor 4 bazine studiate. S-a demonstrat pe baza studiului de caz întreprins asupra bazinului Teliu și a câtorva dintre cele mai mari evenimente care au avut loc, aplicabilitatea metodei pentru diferite condiții AMC. Având în vedere că rezultate cel puțin acceptabile s-au obținut doar prin calibrare și că acestea au fost superioare celor generate prin utilizarea altor metode, cercetarea care urmează se axează doar pe metoda amintită. Cu alte cuvinte, cercetarea vizează validarea prin simularea hidrografelor de viitură, a valorilor CN, determinate atât pe baza metodei NRCS-CN tabelare (TAB), cât și derivate din relația de ploaie-scurgere caracteristică sezonului de vegetație, pe baza metodelor tendinței centrale, respectiv AF_0 .

S-a ales pentru analize în acest caz, un număr total de 19 evenimente. La nivelul fiecărui bazin în parte, au fost selectate din cadrul metodelor tendinței centrale, acele valori CN care au oferit rezultate optime în determinarea stratului scurs pentru $\lambda = 0.2$, având în vedere procedura clasică incorporată MIKE HYDRO River-UHM. În ceea ce privește datele radar, s-a ales câte un eveniment ploios reprezentativ la nivel bazinal în funcție de disponibilitatea datelor, iar pe baza câmpului de precipitații corectat, s-au efectuat simulări ale hidrografelor de viitură pentru stabilirea timpului de întârziere.

Bazinul hidrografic Teliu

A fost selectat un număr de 11 evenimente pentru calibrarea și validarea modelului prin metoda NRCS-CN la care ne vom raporta în continuare prin denumirea de SCS, așa cum este înscrisă modulului UHM, spre a nu crea confuzii. În cadrul acestei selecții s-au avut în vedere debitele maxime (fiind selectate cele mai mari viituri cu informații disponibile), perioadele cu avertizări de precipitații disponibile la s.h., precum și informațiile legate de intensitatea și durata ploii de la s.m. Întorsura Buzăului. Evenimentele analizate în subcapitolul anterior au fost reluate în cadrul prezentei cercetări în scopuri comparative.

Primul pas a constat în simularea hidrografelor de viitură prin procedura clasică SCS, scopul inițial fiind de a o respecta așa cum a fost adesea prezentată în literatura de specialitate, prin clasificarea evenimentelor în funcție de condițiile AMC5. Cu toate acestea, au existat cazuri când pentru anumite condiții AMC, nu s-a putut realiza simularea (ex. 08-11.08.2010, 06-10.05.2019, 20-23.09.2005, etc.), motiv pentru care am considerat necesară convertirea valorilor CN la alte condiții, ținând cont de clasificarea conform percentilelor și de posibilitatea ca precipitațiile măsurate să nu corespundă întru totul cu situația din teren. Rezultate mult mai bune au fost obținute astfel, însă cu valori $NSE < 0$, situație caracteristică de altfel tuturor evenimentelor simulate, excepție făcând cele din anii 2018 și 2010. Cu toate că simularea evenimentului din 2018 s-a bazat pe datele radar corectate, valoarea NSE s-a situat sub limita acceptabilității (Tabelul 8). Luând în considerare cele mai bune rezultate obținute prin procedura tradițională (în general cele aferente AMC III), s-a putut observa faptul că în majoritatea cazurilor timpul de întârziere ar trebui să fie mult mai mare de 2 ore, singurele excepții fiind evenimentele din 29.06-01.07.2018 și 20-22.06.2020. S-au observat diferențe mai mari de 4 ore între momentele de producere ale debitelor maxime pentru 7 cazuri din 11. În următoarea etapă calibrarea Tlag s-a realizat pe baza evenimentelor din 2018 (pentru care am dispus de date radar), 2020, 2012, și 1991.

Tabelul 8. Rezultatele analizei statistice a debitelor simulate cu metoda SCS pentru CN-TAB = 54 și T_{lag} derivat pentru diferite categorii de AMC

Eveniment	AMC	Q max măsurat		Q max simulat		Indicatori statistici				
		m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
29.06-01.07. 2018	III	63.0	30.06 – 15:00-16:00	39.4	30.06 – 16:00-	37	8.70	0.57	0.37	0.84
29-03.06. 2014	II	9.3	31.05 - 16:00	3.0	31.05 - 18:00	68	3.4	0.54	<0	0.49
	III	9.3	31.05 - 16:00	9.7	31.05 - 11:00	4	2.85	0.39	<0	0.68
08 - 11.08. 2010	II	10.9	09.08 – 06:00	0.8	09.08 – 06:00	93	4.09	0.64	<0	0.45
	III	10.9	09.08 – 6:00	10.5	09.08 – 2:00	4	2.33	0.73	0.44	0.84
20 - 23.09. 2005	II	8.1	21.09 – 06:00	0.37	21.09 – 9:00	95	3.75	0.22	<0	0.43
	III	8.1	21.09 – 06:00	7.95	21.09 – 0:00	1	3.34	0.07	<0	0.52
06-10.05. 2019	III	6.4	07.05 – 09:00	5.56	07.05 – 7:00	13	2.18	0.15	<0	0.49
12-15.06. 2020	II	15.9	12.06 – 6:00	0.8	13.06 – 7:00	95	4.82	0.23	<0	0.45
	III	15.9	12.06 – 6:00	10.7	12.06 – 5:00	33	3.46	0.64	<0	0.73
20-22.06. 2020	III	7.6	20.06 – 12:00	4.2	20.06 – 14:00	44	2.2	0.46	<0	0.59
26-30.05. 1991	I	42.7	27.05 – 12:00	8.55	28.05 – 23:00	80	13.52	0.01	<0	0.46
	II	42.7	27.05 – 12:00	9.6	27.05 – 7:00	77	13.34	0.06	<0	0.46
	III	42.7	27.05 – 12:00	27.7	27.05 – 7:00	35	12.12	0.16	<0	0.53
11-14.04. 2016	III	15.2	11.04 – 21:00	23.8	11.04 – 11:00	57	6.03	0.15	<0	0.60
29-31.05. 2012	III	10.9	29.05 – 19:00	4.8	29.05 – 11:00	56	2.70	0.07	<0	0.47
18-21.04. 2012	III	10.9	19.04 – 14:00	3.72	19.04 – 9:00	66	2.31	0.14	<0	0.49

Au rezultat valori T_{lag} destul de diferite între evenimentele, fapt care a dus la stabilirea unei valori medii de aprox. 6.8 ore pentru utilizare, aceasta fiind, de altfel, cea rezultată în urma calibrării doar pe baza datelor din 2018, în ziua de 30.06.2018 având loc cea mai mare viitură de la înființarea s.h. (1987) și până în prezent. Rezultatele au fost surprinzător de bune cu diferențe de timp maxime de 4 ore între momentul producerii debitului maxim observat și cel al producerii debitului simulat. Etapele de calibrare și validare au avut ca rezultat coeficienți R^2 cu valori cuprinse între 0.36 și 0.94 pentru CN = 85, respectiv între 0.35 și 0.94 pentru CN = 80 (Tabelele 9-12), mult mai bune decât în cazul situației prezentate în Tabelul 8. De data aceasta, o singură situație cu $RMSE > 10$ a fost identificată și corespunde

evenimentului din 2018 (Figura 16), erorile mai mari fiind observate pentru simulările cu CN = 85.

Tabelul 9. Rezultatele simularilor cu metoda SCS si parametrii de intrare in modelul UHM - MIKE

Hydro River. Etapa de calibrare cu CN-AM = 85

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
29.06-01.07.2018	63	30.06 – 15:00-16:00	53.5	30.06 – 15:00	6.8	15	12.08	0.62	0.53	0.82
12-15.06.2020	15.9	12.06 – 6:00	20.0	12.06 – 6:00	4	26	1.94	0.88	0.84	0.95
20-22.06.2020	7.6	20.06 – 12:00	13.9	20.06 – 14:00	3	83	2.38	0.58	0.51	0.77
26-30.05.1991	42.7	27.05 – 12:00	42.3	27.05 – 08:00	4	1	7.98	0.36	<0	0.75
11-14.04.2016	15.2	11.04 - 21:00	20.8	11.04 – 20:00	10	37	2.60	0.94	0.84	0.94
29-31.05.2012	10.9	29.05 – 19:00	13.6	29.05 – 18:00	10	25	2.22	0.73	0.58	0.81
18-21.04.2012	10.9	19.04 – 14:00	11.0	19.04 – 14:00	10	1	1.75	0.85	0.66	0.87

Tabelul 10. Rezultatele simularilor cu metoda SCS si parametrii de intrare in modelul UHM - MIKE

Hydro River. Etapa de validare cu CN-AM = 85

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
08-11.08.2010	10.9	09.08 – 6:00	16.9	09.08 – 7:00	6.8	55	3.40	0.84	0.62	0.82
29.05-03.06.2014	9.3	31.05 – 16:00	12.2	31.05 – 14:00	6.8	31	2.37	0.75	0.60	0.83
20-23.09.2005	8.1	21.09 – 06:00	11.8	21.09 – 03:00	6.8	47	2.47	0.84	0.65	0.84
06-10.05.2019	6.4	07.05 – 09:00	9.7	07.05 – 09:00	6.8	52	1.76	0.72	0.50	0.78

Tabelul 11. Rezultatele simularilor cu metoda SCS si parametrii de intrare in modelul UHM - MIKE

Hydro River. Etapa de calibrare cu CN-AF₀ = 80.45

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
29.06-01.07.2018	63.0	30.06 – 15:00-16:00	49.04	30.06 – 16:00	6.8	22	10.54	0.62	0.57	0.85
12-15.06.2020	15.9	12.06 – 06:00	14.9	12.06 – 06:00	4	6	1.97	0.84	0.68	0.93
20-22.06.2020	7.6	20.06 – 12:00	8.5	20.06 – 14:00	3	13	1.79	0.52	0.17	0.78
26-30.05.1991	42.7	27.05 – 12:00	39.5	27.05 – 08:00	4	8	8.46	0.35	<0	0.73
11-14.04.2016	15.2	11.04 – 21:00	16.3	11.04 – 20:00	10	7	1.78	0.94	0.88	0.96
29-31.05.2012	10.9	29.05 – 19:00	10.81	29.05 – 18:00	10	1	1.47	0.73	0.68	0.88
18-21.04.2012	10.9	19.04 – 14:00	9.2	19.04 – 14:00	10	16	0.93	0.89	0.85	0.95

Majoritatea evenimentelor au prezentat o corelație cel puțin satisfăcătoare și chiar puternică în unele cazuri cu erori relativ acceptabile, însă pentru valori CN mult mai mari decât s-ar stabili urmând procedura clasică. Astfel, valorile CN-AF₀, cu toate că au avut o performanță ușor mai slabă în estimarea stratului scurs față de metodele tendinței centrale

(Strapazan et al., 2023), au produs erori mult mai mici în estimarea Q_{\max} , față de cele aferente CN-AM (cu excepția evenimentelor din 2018 și 1991).

Tabelul 12. Rezultatele simularilor cu metoda SCS și parametrii de intrare în modelul UHM - MIKE Hydro River. Etapa de validare cu $CN-AF_o = 80.45$

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
08-11.08.2010	10.9	09.08 – 06:00	12.0	09.08 – 07:00	6.8	10	1.99	0.80	0.73	0.90
29.05-03.06.2014	9.3	31.05 – 16:00	9.9	31.05 – 15:00	6.8	6	2.05	0.80	0.54	0.85
20-23.09. 2005	8.1	21.09 – 06:00	8.8	21.09 – 03:00	6.8	10	1.62	0.85	0.70	0.90
06-10.05.2019	6.4	07.05 – 09:00	6.4	07.05 – 10:00	6.8	0	1.55	0.74	0.07	0.76

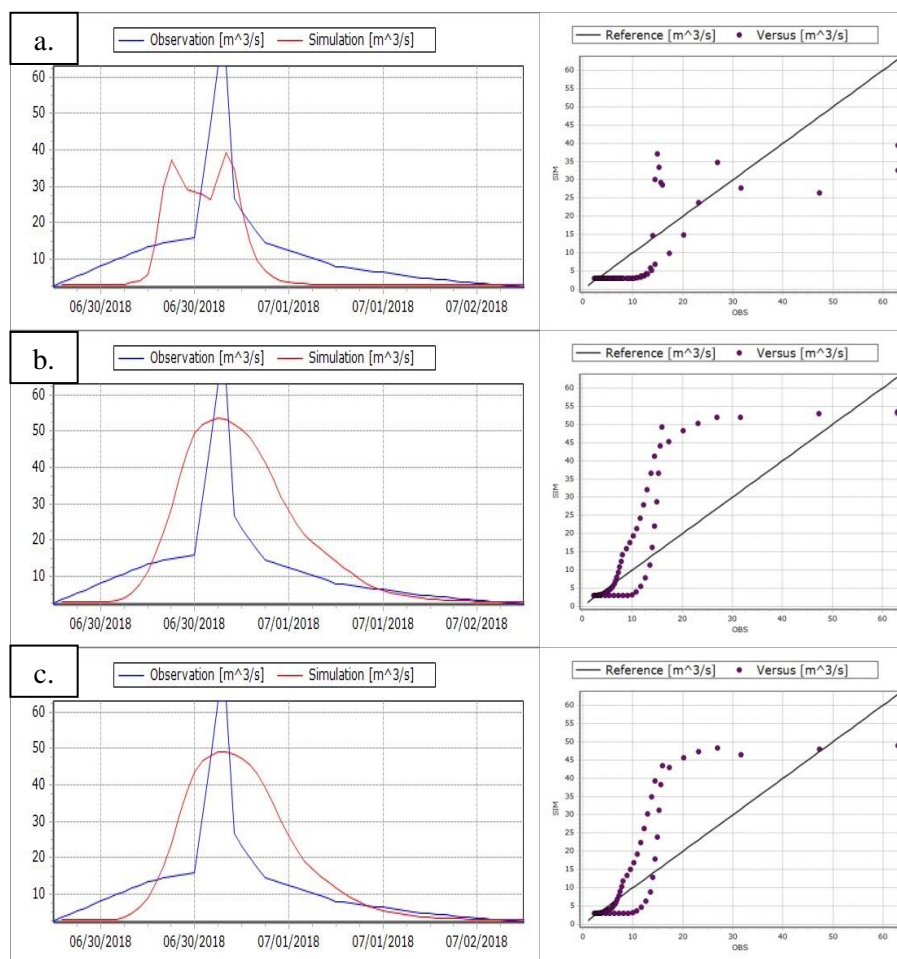


Figura 16. Comparația dintre hidrografele înregistrate la stația Teliu în 30.06-02.07.2018 și simulate cu metoda SCS pentru: a. CN-TAB și T_{lag} calculat; b. CN-AM și T_{lag} definit; c. CN- AF_o și T_{lag} definit.

Bazinul hidrografic Timiș

Din seria de date avută la dispoziție pentru b.h. Timiș, cele mai mari evenimente care au avut loc în sezonul de vegetație s-au produs în anii 1994 (iunie), 2001 (septembrie), 2010

(august) și 2010 (iulie). În restul anilor, viituri mai mari s-au înregistrat în general înainte de anul 2009, bazele de date consultate nedispunând de informații cu frecvență ridicată referitoare la precipitațiile înregistrate la s.m. Predeal. Considerând acest aspect, precum și aria mare de influență a stației Predeal prezenta analiză se va efectua doar asupra viiturilor care s-au produs în lunile iulie și august ale anului 2010. Primele simulări s-au realizat pentru luna august pe baza informațiilor radar corectate. Pentru CN-TAB (50), în cazul evenimentului din luna iulie, simularea nu a avut nici un rezultat pentru condițiile AMC III la care acesta s-a încadrat, rezultatele fiind nesatisfăcătoare și în cazul evenimentului din august (Tabelul 13). Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru CN-MD (Tabelul 14), după cum o demonstrează și concentrarea punctelor în jurul liniei de referință cu o eroare de doar 16% în estimarea valorii Q_{max} . Pentru CN-AF_O (Tabelul 15) valoarea *PEP* a ajuns la 54%, tendința fiind aceea de subestimare a debitelor viiturii. Cu toate acestea, rezultatele au fost mult mai bune decât în cazul anterior. De această dată, T_{lag} -ul calculat conform procedurii din literatură, a oferit rezultate optime, fără a mai fi necesară procedura de calibrare.

Tabelul 13. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-TAB = 50 și T_{lag} rezultat prin calcul.

Eveniment	AMC	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
		m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T_{lag}	<i>PEP</i> (%)	<i>RMSE</i>	R^2	<i>NSE</i>	<i>d</i>
01-02.08.2010	III	45.8	01.08 -20:30	11.8	01.08 – 23:00	2.93	74	9.42	0.37	<0	0.53
14-15.07.2010	III	Fără rezultat									

Tabelul 14. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-MD = 76.5 și T_{lag} rezultat prin calcul.

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T_{lag}	<i>PEP</i> (%)	<i>RMSE</i>	R^2	<i>NSE</i>	<i>d</i>
01-02.08.2010	45.8	01.08 -20:30	38.7	01.08 – 21:00	1.44	16	4.31	0.88	0.78	0.95
14-15.07.2010	36.6	14.07 – 20:30	47.8	14.07 – 21:30	1.44	31	11.16	0.72	0.40	0.79

Tabelul 15. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-AF_O = 72 și T_{lag} rezultat prin calcul.

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T_{lag}	<i>PEP</i> (%)	<i>RMSE</i>	R^2	<i>NSE</i>	<i>d</i>
01-02.08.2010	45.8	01.08 -20:30	20.9	01.08 – 21:30	1.66	54	7.23	0.76	<0	0.76
14-15.07.2010	36.6	14.07 – 20:30	29.5	14.07 – 22:00	1.66	19	12.01	0.61	<0	0.69

Bazinul hidrografic Ozunca

Din seria de evenimente analizate, în funcție de disponibilitatea datelor, s-au ales cele care au avut loc în 2005 (mai), pentru care am avut la dispoziție date radar în vederea calibrării T_{lag} , 2016 (iunie) și 2010 (iunie). În ziua de 28.06.2016, a avut loc cea mai mare viitură înregistrată de la înființarea stației (1979). Ca și în celelalte cazuri și aici simularea nu a avut nici un rezultat pentru AMC5 în cazul evenimentelor din 2005 (Figura 21) și 2016. Per

total, metoda a avut o performanță nesatisfăcătoare pentru CN-TAB (Tabelul 16) conform R^2 rezultat în cazul evenimentului din 2016, remarcându-se totodată și erorile mari ($RMSE = 23.81$). În celelalte cazuri, performanța a fost relativ satisfăcătoare, sau chiar bună (evenimentul din 2005), însă cu valori NSE mici. Cu toate că rezultatele simulărilor pe baza valorilor CN rezultate prin metodele tendinței centrale nu au prezentat diferențe majore d.p.d.v. al indicatorilor statistici de tipul NSE , R^2 sau d (Tabelele 17 și 18), valorile debitelor maxime au fost extrem de influențate de aceste modificări. Dacă pentru evenimentele din 2005 (Figura 17) și 2010 s-au obținut cele mai bune rezultate cu CN-AF₀, în cazul viiturii din 2016, simularea evenimentului a avut rezultate mai bune pentru CN-MD. Această situație este similară celei identificate pentru b.h. Teliu.

Tabelul 16. Rezultatele analizei statistice a debitelor simulate cu metoda SCS pentru CN-TAB= 73 și T_{lag} derivat pentru diferite categorii de AMC

Eveniment	AMC	Q max măsurat		Q max simulat		Indicatori statistici				
		m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
07-08.05.2005	II	36.0	07.05 -17:30	24.0	07.05 -18:00	33	6.70	0.80	<0	0.80
25-28.06.2010	II	29.4	26.06 -15:00	24.5	26.06 -15:30	17	8.70	0.51	<0	0.63
	III	29.4	26.06 -15:00	51.3	26.06 -15:30	74	9.20	0.62	0.43	0.76
28-29.06.2016	III	63.5	28.06 -22:30	71.2	29.06 -00:00	12	23.81	0.15	0.02	0.57

Tabelul 17. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-MD = 83 și T_{lag} definit.

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
07-08.05.2005	36.0	07.05 -17:30	53.8	07.05 -17:30	2	50	7.66	0.78	0.68	0.87
25-28.06.2010	29.4	26.06 -15:00	45.1	26.06 -15:00	2	53	7.86	0.63	0.33	0.78
28-29.06.2016	63.5	28.06 -22:30	54.4	28.06 -23:00	2	14	17.6	0.21	0.10	0.67

Tabelul 18. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-AF₀ = 79.6 și T_{lag} definit.

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
07-08.05.2005	36.0	07.05 -17:30	44.4	07.05 -17:30	2	23	6.06	0.80	0.68	0.90
25-28.06.2010	29.4	26.06 -15:00	38.9	26.06 -15:00	2	32	7.79	0.60	0.03	0.75
28-29.06.2016	63.5	28.06 -22:30	41.6	28.06 -23:00	2	34	15.86	0.20	<0	0.66

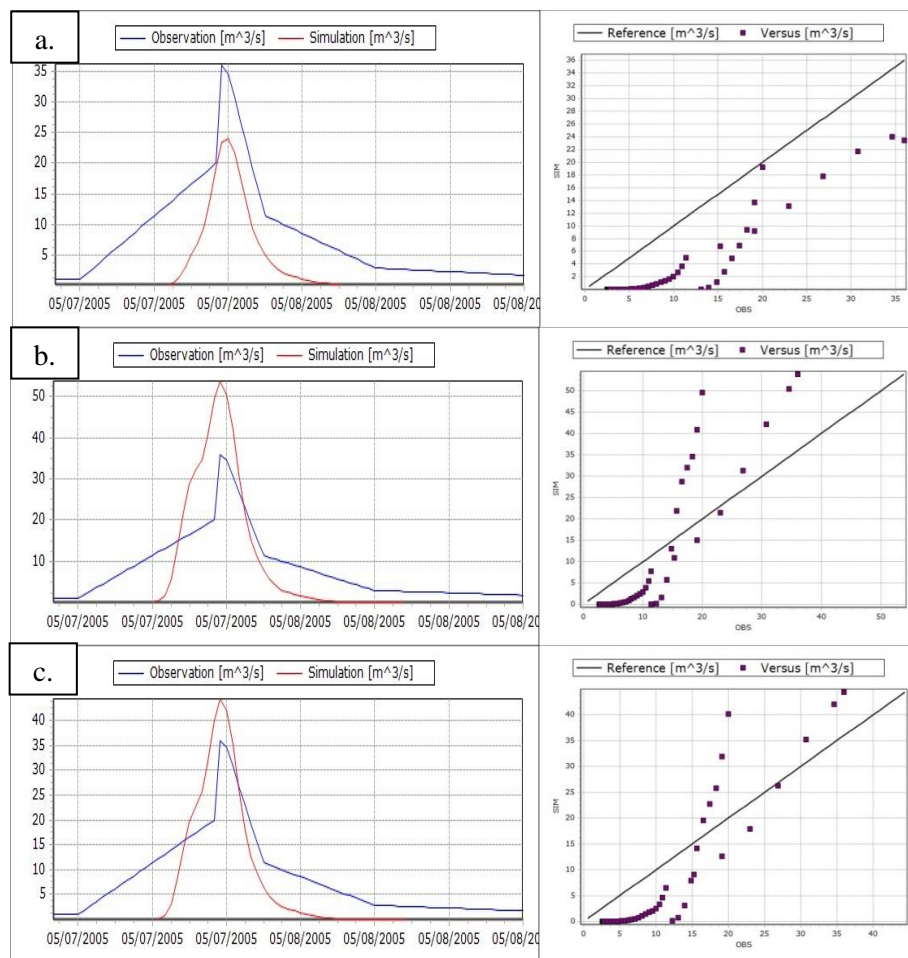


Figura 17. Comparația dintre hidrografele înregistrate la stația Bătanii Mari în 07-08.05.2005 și simulate cu metoda SCS pentru: a. CN-TAB și T_{lag} calculat; b. CN-MD și T_{lag} definit; c. CN-AF_O și T_{lag} definit.

Bazinul hidrografic Covasna

În cazul b.h. Covasna au fost selectate cele mai mari 3 evenimente care au avut loc în perioada de vegetație, respectiv 2010, 2011 și 2018. La 01.08.2010, pr. Covasna a depășit cu 20 cm cota de inundație (C.I. cu $H = 120$ cm), evenimentul fiind cel mai mare din cadrul seriei analizate. În cazul acestui eveniment, pentru care am avut la dispoziție informații radar, pentru condiții AMC5, simularea nu a produs nici un rezultat, fapt care a determinat trecerea la condiții AMC II (acestea fiind de fapt cele rezultate conform grupării evenimentelor în funcție de percentilele 80 și 20 ale valorilor CN). Totuși, Q_{max} simulat a avut o valoare cu 30% mai mică decât cel înregistrat. Per total, erorile în estimarea Q_{max} au fost destul de mari pentru evenimentele din 2018 și 2010 cu valori PEP între 122 și 44%. Metoda a avut o performanță nesatisfăcătoare în cazul 2018 cu R^2 și $NSE < 0.5$ și satisfăcătoare în celelalte cazuri pentru $R^2 > 0.5$ (Tabelul 19). Având în vedere similaritatea dintre valorile CN-AF_O (81.9) și CN-MD (82.6 cu rezultate optime pentru $\lambda = 0.2$), s-au realizat simulări doar pentru

CN-AF₀ = 82, ținând cont și de performanțele mai bune ale modelului în cazul bazinului Teliu (relativ asemănător d.p.d.v. al factorilor care influențează scurgerea). Având în vedere rezultatele aplicării clasice a metodei SCS, am considerat definirea unui T_{lag} = 4 ore. Rezultatele au avut valori PEP și RMSE mult mai mici, respectiv R², NSE și d în general mai mari (Tabelul 20) pentru evenimentele din 2018 și 2010 (Figura 18). În toate cazurile performanța metodei a fost cel puțin satisfăcătoare pentru R² și NSE (excepție anul 2011). Situația este similară cu cea întâlnită la b.h. Teliu, CN-AF₀ generând rezultate cu mult superioare procedurii clasice, însă pentru o valoare T_{lag} mai mare decât cea obținută prin calculul conform literaturii.

În cele mai multe dintre cazuri rezultate mai bune ale simulării s-au obținut pentru CN-AF₀ (mai ales în ceea ce privește Q_{max}), situație care vine în sprijinul teoriei lui Hawkins (1993) referitoare la tendința de stabilizare a valorilor CN la cantități de precipitații însemnate. Figura 19 prezintă relația dintre valorile Q_{max} aferente CN-TAB (alese din setul rezultatelor optime) și cele măsurate la stații, precum și dintre Q_{max} (alese tot din setul rezultatelor optime pe bazin) determinate pe baza parametrului CN obținut din relația ploaie-scurgere (identificat prin denumirea de CN-OBS) și cele observate la stații.

Tabelul 19. Rezultatele analizei statistice a debitelor simulate cu metoda SCS pentru CN-TAB = 61 și T_{lag} derivat pentru diferite categorii de AMC

Eveniment	AMC	Q max măsurat		Q max simulat		Indicatori statistici				
		m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
01-04.08.2010	II	26.1	01.08 – 18:00	7.9	01.08 – 17:00	70	6.53	0.61	<0	0.52
	III	26.1	01.08 – 18:00	37.6	01.08 – 16:00	44	4.98	0.67	0.52	0.85
10-12.06.2011	II	16.0	11.06 -00:00	16.4	10.06 -23:00	2	6.00	0.62	<0	0.68
29.06-03.07. 2018	III	14.0	30.06 –09:00	31.1	30.06 – 06:00	122	5.55	0.29	0.24	0.68

Tabelul 20. Rezultatele simulărilor cu metoda SCS pentru CN-AF₀ = 82 și T_{lag} = 4 ore.

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat			Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	T _{lag}	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
01-04.08.2010	26.1	01.08 – 18:00	31.2	01.08 – 18:00	4	19	4.72	0.65	0.60	0.86
10-12.06. 2011	16.0	11.06 -00:00	18.8	11.06 – 02:00	4	18	5.67	0.66	0.10	0.74
29.06-03.07. 2018	14.0	30.06 –09:00	18.8 (16.9)	01.07 – 00:00 (30.06 – 13:00)	4	34 (21)	2.87	0.74	0.68	0.90

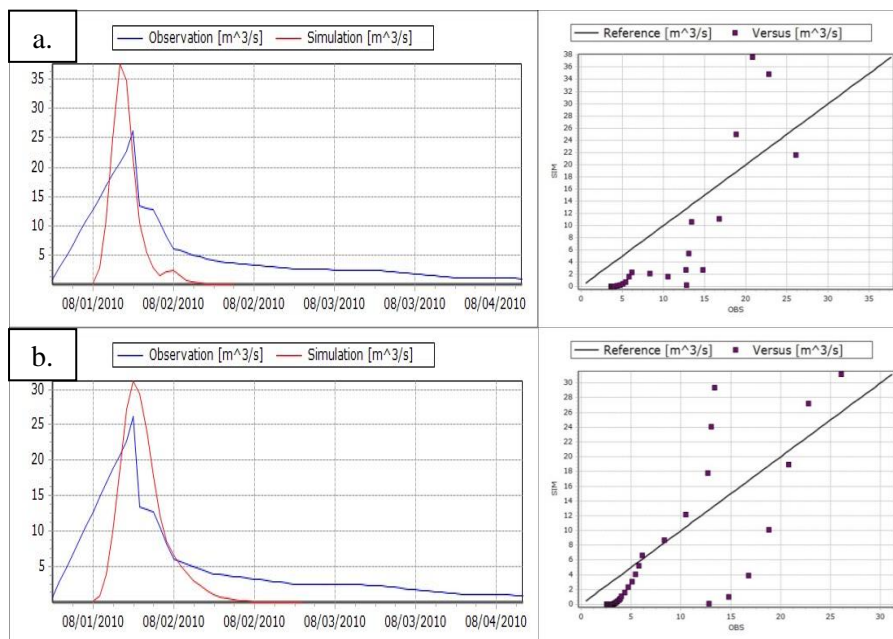


Figura 18. Comparația dintre hidrografele înregistrate la stația Covasna în 01-04.08.2010 și simulate cu metoda SCS pentru: a. CN-TAB și T_{lag} calculat; b. CN-AF_O și T_{lag} definit.

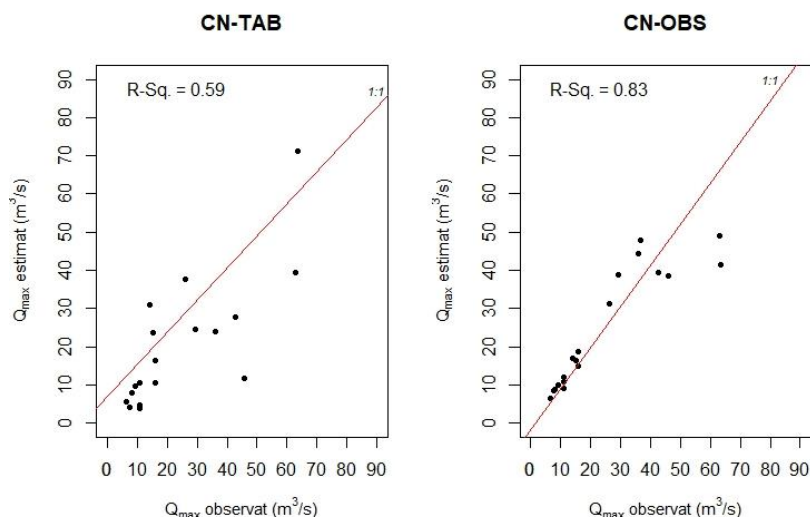


Figura 19. Relația dintre debitele maxime simulate și cele înregistrate la stații pentru CN-TAB și CN-OBS.

6.5. Aplicații ale modelului semi-distribuit aferent HEC-HMS și rezultate. Studiu de caz pe bazinele Covasna și Ozunca.

Pentru analizele aplicate asupra **b.h. Covasna**, au fost utilizate două metode diferite de transformare, respectiv metoda SCS și cea a hidrografului Snyder. Debitele de vârf simulate, apar pe hidrograf cu 3 ore mai devreme în cazul metodei de transformare SCS, comparativ cu cele rezultate prin metoda Snyder (Tabelul 21).

Potrivit datelor măsurate, râul a atins debitul maxim de $16 \text{ m}^3/\text{s}$ (410.3 l/s/km^2) la ora 00:00 în data de 11 iunie 2011. S-a observat că Q_{\max} simulat prin metoda SCS a fost mult mai mare decât cel observat (diferența de $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$) precum și decât cel obținut prin metoda Snyder, cu o diferență de timp de aprox. 3 ore, spre deosebire de rezultatele obținute cu metoda SCS (procedura clasică) prin modelul cu parametri concentrați, caz în care diferența a fost de numai o oră. Debitul de vârf obținut cu metoda de transformare Snyder, a fost mai scăzut cu doar 1,3% decât cel observat, diferența fiind de aprox. 10 min. din punct de vedere al timpului de apariție (Figura 20).

Tabelul 21. Debitele maxime simulate cu ambele metode de transformare pentru b.h. Covasna (Strapazan & Petruț, 2017)

Element hidrologic (Râu/Subbazin/Confluență)	SCS		Moment producere	Snyder		Moment producere
	Q_{\max} (m^3/s)	q (l/s/km^2)		Q_{\max} (m^3/s)	q (l/s/km^2)	
Confluența-1	6.7	692.9	10.06.2011, 21:51	5.0	517.1	11.06.2011, 00:33
Chetag	4.4	483.5	10.06.2011, 21:55	3.3	362.6	11.06.2011, 00:34
Tistopic	2.3	454.5	10.06.2011, 21:44	1.7	336.0	11.06.2011, 00:32
Confluența-3	4.8	556.8	10.06.2011, 20:48	3.4	394.4	11.06.2011, 00:09
Confluența-2	2.7	600.0	10.06.2011, 20:47	1.9	422.2	11.06.2011, 00:08
Subbazin-2	1.5	517.2	10.06.2011, 21:10	1.1	379.3	11.06.2011, 00:19
Confluența-5	15.4	485.5	10.06.2011, 21:08	11.8	372.0	11.06.2011, 00:16
Confluența -4	12.2	472.5	10.06.2011, 21:15	9.5	367.9	11.06.2011, 00:18
Confluența -3	2.2	488.9	10.06.2011, 21:11	1.6	355.6	11.06.2011, 00:20
COVASNA Post (Sink-1)	<u>20.9</u>	<u>535.9</u>	<u>10.06.2011, 20:57</u>	<u>15.8</u>	<u>405.1</u>	<u>11.06.2011, 00:11</u>
Confluența-7	20.1	523.4	10.06.2011, 21:01	15.2	395.8	11.06.2011, 00:13

În cazul **b.h. Ozunca** modelul a fost aplicat asupra evenimentului major din 28-29.06.2016. De data aceasta, rezultatele se prezintă doar pentru metoda de transformare SCS, dat fiind faptul că a avut o performanță bună încă de la început. Debitele au fost simulate, la fel ca și în cazul anterior, în zonele de confluență la nivelul bazinului (Tabelul 22).

S-a observat o diferență de doar 2 minute între momentele de producere ale Q_{\max} , aceasta fiind mult mai mică decât în cazul modelului cu parametri concentrați, încadrându-se într-o eroare de 9 %. În cazul de față s-a observat o oarecare subestimare a debitelor, comparativ cu rezultatele generate de modelul cu parametri concentrați.

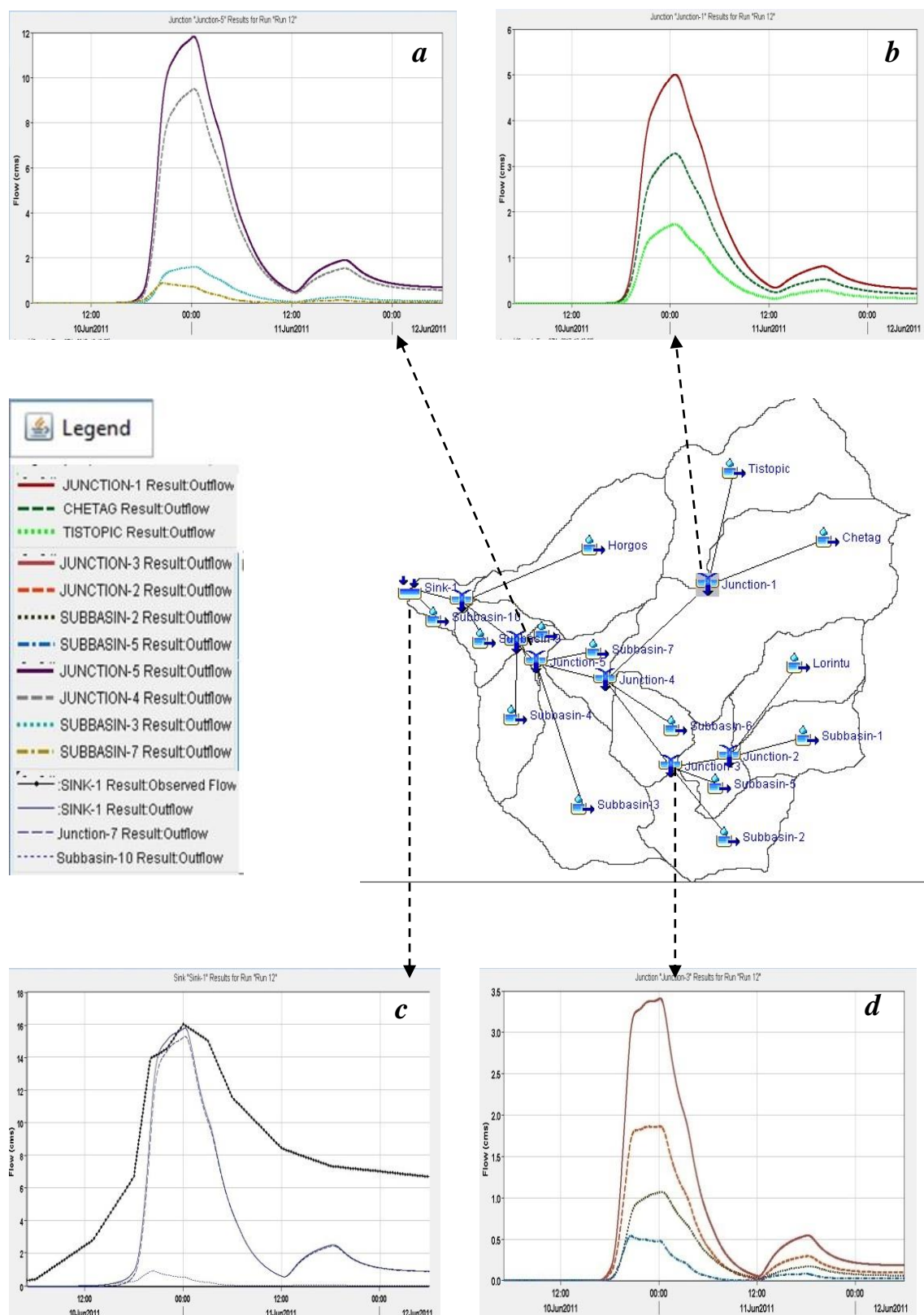


Figura 20. Structura semi-distribuită a modelului HEC-HMS pentru metoda de transformare Snyder-Hidrografe de debit-b.h. Covasna. Notă: a-la confluența 5; b-la confluența 1; c-la stație; d-la confluența 3 (Strapazan & Petruț, 2017)

Tabelul 22. Debitete maxime simulate cu metoda SCS pentru b.h. Ozunca

Element hidrologic (Râu/Subbazin/ Confluență)	SCS		Moment producere
	Q_{max} (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	
Confluența-207	9.4	1836.6	28.06.2016, 22:04
W730	2.1	1926.6	28.06.2016, 21:50
W810	7.4	1827.2	28.06.2016, 22:07
Confluența-216	15.7	580.6	28.06.2016, 22:09
W690	1.2	568.7	28.06.2016, 21:54
W700	1.5	724.6	28.06.2016, 21:56
Confluența-210	5.3	1373.1	28.06.2016, 21:54
W640	4.2	1463.4	28.06.2016, 21:55
W720	1.1	1111.1	28.06.2016, 21:51
BĂȚANII MARI Post (Sink-1)	<u>58.0</u>	<u>876.1</u>	<u>28.06.2016, 22:28</u>

6.6. Aplicații ale Modelului de la Cluj și rezultate.

Evenimentele utilizate pentru aplicarea modelului de la Cluj au la bază rezultatele generate prin ajustarea datelor radar, ținând cont de structura distribuită a modelului. Algoritmul GIS de calibrare a valorilor CN s-a utilizat cu scopul obținerii unei valori medii la nivel de bazin cât mai apropiată de cea pentru care s-au obținut rezultate optime prin modelul amintit.

În ceea ce privește **b. h. Teliu**, valorile CN au fost calibrate cu până la 39% cu scopul obținerii unei valori cât mai apropiată de cea corespunzătoare CN-AM (85). A rezultat un timp de concentrare de 1761 corespunzător $K=0.02$. Valorile R^2 , d și NSE au fost mult mai mici, chiar negative de data aceasta (Tabelul 23), comparativ nu doar cu rezultatele anterior obținute pentru CN-AM, dar chiar și cu cele generate prin procedura clasică, ducând la concluzia că pentru simularea evenimentului din 2018, se pretează mult mai bine modelul cu parametri concentrați.

Tabelul 23. Rezultatele obținute pentru b.h. Teliu cu metoda SCS prin Modelul de la Cluj

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat		Parametri calibrați		Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	CN; S	+39% CN _{med} = 84.8	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
29.06-01.07. 2018	63.0	30.06 - 15:00- 16:00	46.2	30.06 – 09:35	K (viteza)	0.02	27	16.38	0.25	<0	0.62

*Unde $CN_{med} = CN$ mediu rezultat prin calibrare la nivel de bazin

În cazul **b. h. Timiș**, valorile CN au necesitat o modificare cu până la 89% pentru determinarea unei valori medii cât mai apropiată de cea corespunzătoare CN-MD (76.5), având în vedere că la s.m. Predeal s-a înregistrat o cantitate de precipitații anterior evenimentului, care l-ar fi clasificat la AMC I (Tabelul 24). Cu toate acestea, valoarea medie

rezultată a fost de doar 70.0, similară mai degrabă cu cea aferentă CN-AF₀. S-a obținut un timp de concentrare de 586 min, corespunzător $K=0.3$. Eroarea în estimarea Q_{max} a fost de doar 0.05, mult mai mică decât cea rezultată prin aplicarea modelului cu parametri concentrați, atât pe baza CN-MD, cât și pentru CN-AF₀. Cu toate acestea, au rezultat valori $RMSE$ mai mari, și NSE mai mici având în vedere supraestimarea debitelor, modelul cu parametri concentrați oferind, astfel, rezultate mai bune.

Tabelul 24. Rezultatele obținute pentru b.h. Timiș cu metoda SCS prin Modelul de la Cluj

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat		Parametri calibrați		Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	CN; S	+89% CN _{med} = 70.0	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
01-02.08.2010	45.8	01.08 - 20:30	48.0	01.08 - 22:05	K (viteza)	0.3	5	9.99	0.77	0.001	0.85

*Unde $CN_{med} = CN$ mediu rezultat prin calibrare la nivel de bazin

În cazul **b. h. Ozunca**, valorile CN au fost mărite cu 20%, obținându-se un CN mediu de 80,1, foarte apropiat ca valoare de CN-AF₀ (79,6). În urma calibrării a rezultat un strat scurs cuprins între 0,55 și 57,6 mm, timpul de concentrare rezultat fiind de 1173 min, corespunzător $K = 0.1$ (Figura 21).

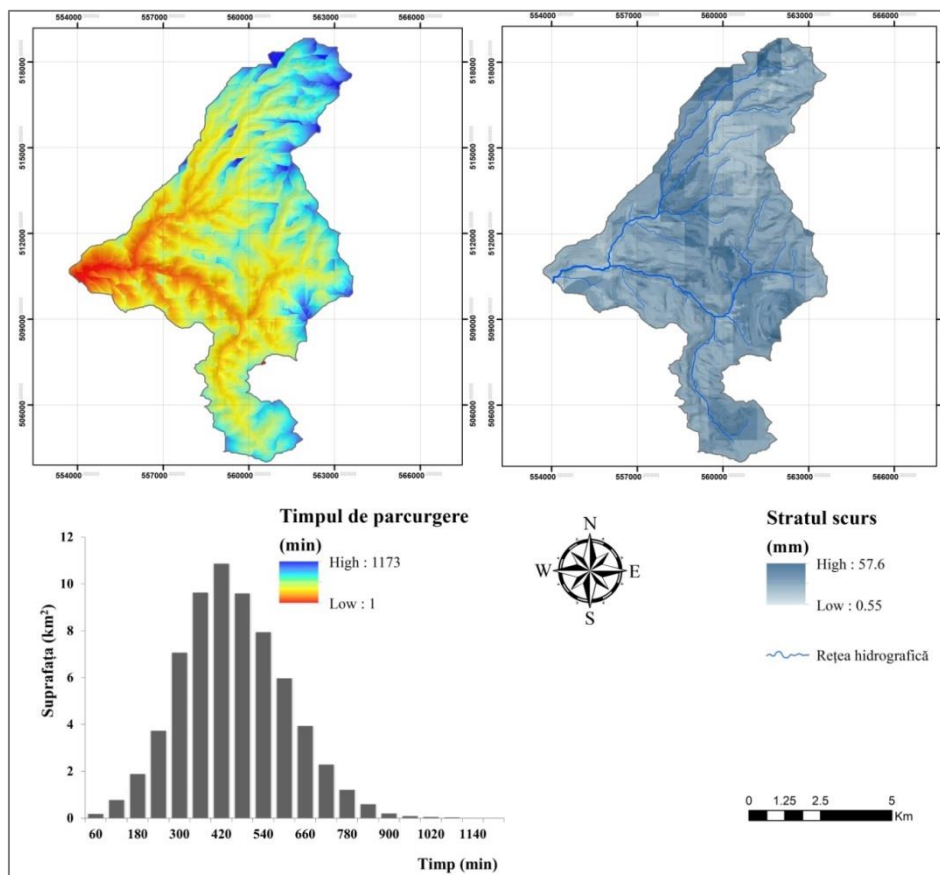


Figura 21. Timpul de parcurgere cu diagrama arie-timp asociată (stânga) și stratul scurs rezultat (dreapta) pentru b.h. Ozunca

Eroarea în estimarea Q_{\max} a fost de doar 3%, mai mică decât cea obținută pentru CN-AF_O prin utilizarea modelului cu parametri concentrați, iar valorile R^2 și d relativ asemănătoare. Cu toate acestea, a rezultat un NSE cu aproximativ 50% mai mic iar valorile $RMSE$ au fost ceva mai mari în acest caz (Tabelul 25). Compararea dintre hidrografe poate fi observată în Figura 22.

Tabelul 25. Rezultatele obținute pentru b.h. Ozunca cu metoda SCS prin Modelul de la Cluj

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat		Parametri calibrați		Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	CN; S	+20% CN _{med} = 80.1	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
07-08.05.2005	36.0	07.05 - 17:30	37.2	07.05 - 17:11	K (viteza)	0.1	3	6.55	0.84	0.33	0.89

*Unde $CN_{med} = CN$ mediu rezultat prin calibrare la nivel de bazin

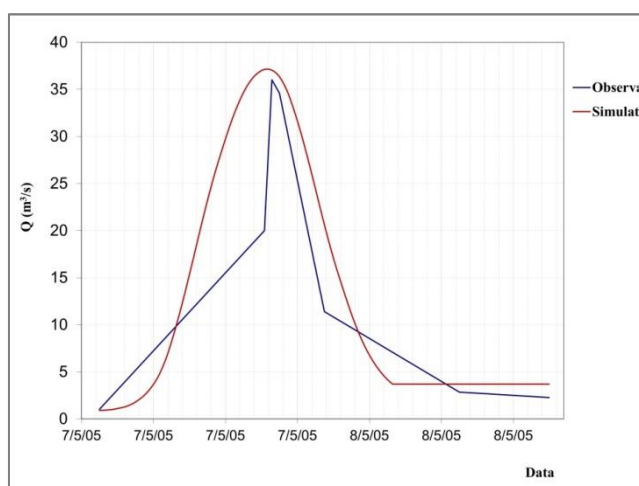


Figura 22. Compararea dintre hidrografele înregistrate la stația Bățanii Mari în 07-08.05.2005 și simulate cu metoda SCS prin Modelul de la Cluj

Pentru **b. h. Covasna** a fost necesară calibrarea valorilor CN cu până la 35%, astfel încât valoarea medie generată să corespundă cu CN-AF_O (82). S-a obținut un timp de concentrare de 1068 min corespunzător $K = 0.05$. Metoda și în acest caz a avut tendința generală de supraestimare a debitelor maxime, însă cu valori PEP și $RMSE$ puțin mai mici decât cele obținute prin modelul cu parametri concentrați și valori mai mari aferente R^2 și d (Tabelul 26). Cu toate acestea valoarea NSE a fost mult mai mică.

Tabelul 26. Rezultatele obținute pentru b.h. Covasna cu metoda SCS prin Modelul de la Cluj

Eveniment	Q max măsurat		Q max simulat		Parametri calibrați		Indicatori statistici				
	m ³ /s	Moment producere	m ³ /s	Moment producere	CN; S	+35% CN _{med} = 82	PEP (%)	RMSE	R ²	NSE	d
01-02.08.2010	26.1	01.08 - 18:00	30.4	01.08 - 15:52	K (viteza)	0.05	17	4.61	0.89	0.47	0.92

*Unde $CN_{med} = CN$ mediu rezultat prin calibrare la nivel de bazin

CONCLUZII

Prezenta cercetare a oferit o abordare alternativă a utilizării metodei NRCS-CN pentru estimarea scurgerii la nivelul unor bazine montane de mici dimensiuni, precum și pentru simularea hidrografelor de viitură. Chiar dacă metodele pentru determinarea valorilor CN pe baza relației ploaie-scurgere au indicat o oarecare similaritate a rezultatelor obținute, acestea se diferențiază destul de mult de cele determinate prin metodologia clasică a utilizării tabelelor predefinite, fapt care demonstrează că anumite ipoteze construite asupra condițiilor hidrologice nu corespund întotdeauna cu situația caracteristică altei zone decât cea pentru care au fost emise.

Cu toate că în cazul de față abordarea alternativă a metodologiei a oferit rezultate fiabile, nu este sigur că aceste rezultate particulare pot fi extrapolate la scară largă. Ținând cont că bazinele se localizează la nivelul unui areal montan mijlociu cvasi-omogen, informațiile ar putea fi transferate unor bazine similare învecinate, însă studii ulterioare ar trebui întreprinse în vederea identificării unor astfel de areale comparabile.

Totuși, generalizarea și extrapolarea la nivelul regiunii aferente implică incertitudini, dată fiind schimbarea condițiilor naturale și existența altor particularități ale terenului, având în vedere faptul că râurile converg spre Depresiunea Brașovului, arealul fiind unul extrem de diversificat. Se conturează, astfel, necesitatea ca cercetări ulterioare din domeniul modelării scurgerii de suprafață la nivelul bazinelor mici, forestiere, să ia în considerare verificarea sau validarea tabelelor NEH630 pe baza măsurărilor și observațiilor din teren, în special de la stațiile hidrometrice din rețeaua Administrației Naționale Apele Române. Continuarea direcției de cercetare ar putea fi chiar redefinirea acestor valori dacă se constată diferențe majore.

În cazul de față s-a constatat slaba acuratețe a metodei clasice bazată pe tablele NEH630 în estimarea stratului scurs la nivelul arealului analizat, atât pentru $\lambda = 0.2$, cât și pentru $\lambda = 0.05$. Totuși, atunci când simulările s-au realizat cu valorile direct obținute prin calcul pe baza datelor înregistrate la stațiile hidrometrice, au oferit rezultate optime sau cel puțin rezonabile.

Totodată, rezultatele bune obținute și prin modelul de tip distribuit de la Cluj, însă pe baza unei ajustări considerabile a parametrului CN, afirmă validitatea metodologiei prezentate, confirmând, de asemenea, utilitatea algoritmului de calcul a vitezelor implementat. Acesta poate oferi o alternativă care să vină în ajutorul simulării viiturilor pluviale, pe baza unui astfel de model cu parametri distribuiți, însă studii ulterioare sunt recomandate pentru

validarea acestuia pe baza mai multor serii de date. De asemenea, rezultate de o acuratețe mai mare ar putea fi obținute din date de precizie ridicată pe baza modelului de tip distribuit.

Prin urmare, lucrarea de față poate sta la baza unor cercetări viitoare în ceea ce privește redefinirea valorilor parametrului CN care să poată fi utilizate inclusiv pentru calibrarea și validarea ulterioară atât a modelelor cu parametri concentrați, cât și semi-distribuiți, respectiv distribuiți pentru simularea scurgerii și a undelor de viitură.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Abbott, M. B & Refsgaard, J. C. (1996). *Distributed Hydrological Modelling*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Olanda.
2. Ajmal, M., Kim, T. W. & Ahn, J. H. (2016). Stability assessment of the curve number methodology used to estimate excess rainfall in forest-dominated watersheds. *Arab J Geosci* 9, 402. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2421-y>
3. Al-Smadi, M. (1998). *Incorporating Spatial and Temporal Variation of Watershed Response in a GIS-based hydrologic model*. MS Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, disponibil online la: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/36216>, accesat în 02.08.2018.
4. Bălan, I., Crenganiș, L. & Corduneanu, F. (2016). Flood analysis using Mike 11 by DHI and ArcGIS. Case study – the flood in the upper catchment of river Geru, Galați county, Romania. *RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre*, 20, 27-38.
5. Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, UK.
6. Calero Mosquera, D., Hoyos Villada, F. & Torres Prieto, E. (2021). Runoff Curve Number (CN model) Evaluation Under Tropical Conditions. *Earth Sciences Research Journal*, 25(4), 397-404.
7. Cao, H., Vervoort, R. W., & Dabney, S. M. (2011). Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). *Hydrological Processes*, 25(24), 3774–3789. <https://doi.org/10.1002/hyp.8102>
8. Chendeș, V. (2007). *Scurgerea lichidă și solidă în Subcarpații de la Curbură*. Teza de doctorat. Institutul de Geografie. Academia Română.
9. Chendeș, V. (2011). *Resursele de apă din Subcarpații de la Curbură. Evaluări Geospațiale*. Editura Academiei Române, București, România.

10. Chow, V.T., Maidment, D. R. & Mays, L.W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York, NY.
11. Cole, B., Smith, G., De La Barreda-Bautista, B., Hamer, A., Payne, M. J., Codd, T., Johnson, S. J., Chan, L. Y., & Balzter, H. (2022). Dynamic Landscapes in the UK Driven by Pressures from Energy Production and Forestry—Results of the CORINE Land Cover Map 2018. *Land*, 11(2), 192. <https://doi.org/10.3390/land11020192>
12. Corbuș C. (2010). *Programul CAVIS pentru determinarea caracteristicilor undelor de viitură singulare*. In: Conferința Științifică Jubiliară a Institutului Național de Hidrologie și Gospodărirea Apelor, "Hidrologia și gospodărirea apelor - Provocări 2025 pentru dezvoltarea durabilă a resurselor de apă", București, 116-123.
13. Costache, R. (2014) Using GIS techniques for assessing lag time and concentration time in small river basins. Case study: Pecineaga river basin, Romania. *Geographia Technica*, 9 (1),31-38.
14. Crăciun, A. I. (2011). *Estimarea indirectă, cu ajutorul GIS, a umezelii solului în scopul modelării viiturilor pluviale. Aplicații în Munții Apuseni* (Teză de doctorat). Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România.
15. Crăciun, A. I., Haidu, I., Magyari-Sáska, Zs. & Imbroane, A. I. (2009). Estimation of runoff coefficient according to soil moisture using GIS techniques. *Geographia Technica*, 4(2), 1-10.
16. D'Asaro F, Grillone G, Hawkins RH, (2014). Curve number: empirical evaluation and comparison with curve number handbook tables in Sicily. *J Hydrol Eng*. 19(12) :04014035. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000997](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000997)
17. DHI (2017). Danish Hydraulic Institute. *MIKE 1D.DHI Simulation Engine for 1D river and urban modeling. Reference Manual*. DHI, Horsholm, Denmark.
18. Diaz-Ramirez J. N., McAnally W. H. & Martin, J. L. (2011). Analysis of hydrological processes applying the HSPF model in selected watersheds in Alabama, Mississippi, and Puerto Rico. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6):937–954. <https://doi.org/10.13031/2013.40627>
19. Domnița, M. (2012). *Runoff modeling using GIS. Application in torrential basins in the Apuseni Mountains* (Ph.D Thesis), Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România.
20. Drobot, R. (2007). *Metodologia de dereminare a bazinelor hidrografice torențiale în care se află așezări umane expuse pericolului viiturilor rapide*. Departamentul de Cercetare și Proiectare în Construcții - Universitatea Tehnică de Construcții București, România.

21. Du, J., Xie, H., Hu, Y., Xu, Y., Xu & C.Y. (2009). Development and testing of a new storm runoff routing approach based on time variant spatially distributed travel time method. *J. Hydrol.* 369(1–2), 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.033>.
22. Elzhov, T. V., Mullen, K. M., Spiess, A.-N. & Bolker, B. (2016). minpack.lm: R interface to the Levenberg-Marquardt nonlinear least-squares algorithm found in MINPACK, plus support for bounds. R package version 1.2-1. Disponibil online la: <https://CRAN.R-project.org/package=minpack.lm>, accesat în 03.08.2022.
23. Gyori, M. M. & Haidu, I. (2011). Unit Hydrograph generation for ungauged subwatersheds. Case study: The Monoroștia River, Arad County, Romania. *Geographia Technica*, 6(2), 23-29.
24. Gyori, M. M. (2013). *Predicția viiturilor rapide în condiții de date limitate. Aplicații la râurile mici din munții Zărandului și Săvârnișului* (Teză de doctorat). Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România.
25. Gyori, M. M., Haidu, I. & Humbert, J. (2016). Deriving the floodplain in rural areas for high exceedance Probability Having Limited Data Source. *Environ Eng Manag J*, 15 (8), 1879-1887. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.201>
26. Gyori, M. M., Humbert, J. & Haidu, I. (2013). Deriving flash floods in the case of simulated precipitations. *Geographia Napocensis*, 7 (2), 11-18.
27. Haidu, I. & Ivan, K. (2016). Évolution du ruissellement et du volume d'eau ruisselé en surface urbaine. Étude de cas : Bordeaux 1984- 2014, France. *La Houille Blanche*, 5, 1-6.
28. Haidu, I. & **Strapazan**, C. (2019). Flash flood prediction in small to medium-sized watersheds. Case study: Bistra river (Apuseni Mountains, Romania). *Carpathian J. Earth Environ. Sci.* 14(2), 439–448. <https://doi.10.26471/cjees/2019/014/093>
29. Hänsel, S., Hoy, A., Brendel, C., Maugeri, M. (2022). Record summers in Europe: Variations in drought and heavy precipitation during 1901–2018. *Int. J. Climatol.*, 42, 6235–6257. <https://doi.org/10.1002/joc.7587>
30. Hawkins, R. H. (1993). Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *J Irrigat Drain Eng.*, 119(2), 334–345. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1993\)119:2\(334](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1993)119:2(334)
31. Hawkins, R. H., Hjelmfelt, A. T., & Zevenbergen, A. W. (1985). Runoff Probability, Storm Depth, and Curve Numbers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(4), 330–340. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1985\)111:4\(330](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1985)111:4(330)

32. Hawkins, R. H., Theurer, F. D. & Rezaeianzadeh, M. (2019). Understanding the basis of the curve number method for watershed models and TMDLs. *J. Hydrol. Eng.*, 24, 06019003. [https://doi.org.10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001755](https://doi.org.10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001755).
33. Hawkins, R. H., Ward, T.J., Woodward, D.E. & Van Mullem J.A. (2009). *Curve number hydrology-state of practice*. The ASCE/EWRI publication, U.S. ISBN. 978-0-7844-7257-6
34. Hjelmfelt, A. T. (1991). Investigation of curve number procedure. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 117(6), 725-737.
35. Ibrahim, S., Brasi, B., Yu, Q. & Siddig, M. S. (2022). Curve number estimation using rainfall and runoff data from five catchments in Sudan. *Open Geosciences*, 14(1), 294 - 303. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0356>
36. Im, S., Lee, J., Kuraji, K., Lai, Y. J., Tuankruea, V., Tanaka, N., Gomyo, M., Inoue, H. & Tseng, C.W. (2020). Soil Conservation Service curve number determination for forest cover using rainfall and runoff data in experimental forests. *Journal of Forest Research*, 25(4): 204-213. <https://doi.org/10.1080/13416979.2020.1785072>
37. Institutul de Meteorologie și Hidrologie (1971). *Râurile României. Monografie hidrologică*, București.
38. Ivănescu, V., Mocanu, P., & Sandu, M.A. (2014). Application of a hydrodynamic MIKE 11 Model for Argesel river. In: 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. GeoConference on Water Resources.Forest, Marine and Ocean Ecosystem. Conference Proceedings, Albena, Bulgaria, 65-72.
39. Kaffai-Vodă, A. I. (2022). *Scurgerea maximă în bazinele hidrografice nemonitorizate de mici dimensiuni. Studii de caz în bazinul hidrografic Mureș* (Teză de doctorat). Universitatea Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, România.
40. Khaddor, I. & Alaoui, A. H. (2014). Production of a Curve Number map for Hydrological simulation - Case study: Kalaya Watershed located in Northern Morocco. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 9(4), 1691-1699.
41. Kocsis, I., Haidu, I., Maier, N. (2020) Application of a Hydrological MIKE HYDRO River – UHM Model for Valea Rea River (Romania). Case Study, Flash Flood Event Occurred on August 1st, 2019. 2020 "Air and Water – Components of the Environment" Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, 257-272, https://doi.org/10.24193/AWC2020_24.

42. Kowalik, T. & Walega, A. (2015). Estimation of CN parameter for small agricultura watersheds using asymptotic functions. *Water*, 7(3), 939-955. <https://doi.org/10.3390/w7030939>
43. Kraemer, C. & Panda, S. S. (2009). Automating ArcHydro for watershed delineation, In: The University of Georgia, Water Resources Faculty (ed.). *Proceedings of the 2009 Georgia Water Resources Conference*. Athens, Georgia U.S.A, Warnell School of Forestry and Natural Resources, The University of Georgia, 428-433.
44. Man, T. & Alexe, M. (2006). Modelare hidrologică în GIS. Implementarea Modelului SCS-CN pentru evaluarea scurgerii. *Geographia Technica*, 1, 121-126.
45. Mishra, S. K. & Singh, V. P. (2003). *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Volume 42. Water Science and Technology Library, Springer, Netherlands, Dordrecht.
46. Mishra, S. K., Jain, M. K., Babu, P. S., Venugopal, K. & Kaliappan, S. (2008). *Comparison of AMC-dependent CN-conversion formulae*. *Water Resources Management* 22(10):1409–1420. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9233-5>
47. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
48. Mouratidis, A., & Ampatzidis, D. (2019). European Digital Elevation Model Validation against Extensive Global Navigation Satellite Systems Data and Comparison with SRTM DEM and ASTER GDEM in Central Macedonia (Greece). *ISPRS International Journal of Geo-information*, 8(3), 108. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030108>
49. Mustățea, A. (2005). *Viituri excepționale pe teritoriul României. Geneză și efecte*. Editura București.
50. Musy, A. & Higy, C. (1998). *Hydrologie appliquée*. Editions H*G*A, București. ISBN: 973-98530-8-0;
51. NRCS (2004). *Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover complexes*. In Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Natural Resources Conservation Service, U.S.D.A.: Washington, DC.
52. Olaya, V. (2004a). *A gentle introduction to SAGA GIS*. Edition 1.1. The SAGA User Group, Göttingen University, Germany (disponibil la: <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%20Documents/>, accesat în 05.01.2018)

53. Olaya, V. (2004b). *Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno-Teoría, Práctica y Filosofía de una Nueva Forma de Análisis Hidrológico*. Editora: Madrid, Spain.
54. Ponce, V. M., & Hawkins, R. H. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity? *J. Hydrol. Eng.*, 1(1), 11–19. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(1996\)1:1\(11](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(1996)1:1(11)
55. Ritter, A. & Muñoz-Carpena, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *J. Hydrol.*, 480, 33–45.
56. SCS (1964). *Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*; U.S. Soil Conservation Service: Washington, DC, USA, 1964.
57. Steiner, M., Smith, J. A., Burges, S. J., Alonso, C., & Darden, R. W. (1999). Effect of bias adjustment and rain gauge data quality control on radar rainfall estimation. *Water Resources Research*, 35(8), 2487–2503. <https://doi.org/10.1029/1999wr900142>
58. **Strapazan**, C. & Petruț, M. (2017). Application of Arc Hydro and HEC-HMS model techniques for runoff simulation in the headwater areas of Covasna Watershed (Romania). *Geographia Technica*, 12(1), 95-107. https://doi.10.21163/GT_2017.121.10.
59. **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. In: Air and Water – Components of the Environment Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, 225-236. https://doi.10.24193/AWC2019_23.
60. **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>
61. **Strapazan**, C., Irimuș, I.-A., Șerban, G., Man, T.C. & Sassebes, L. (2023a). Determination of Runoff Curve Numbers for the Growing Season Based on the Rainfall–Runoff Relationship from Small Watersheds in the Middle Mountainous Area of Romania. *Water*, 15, 1452. <https://doi.org/10.3390/w15081452>
62. **Strapazan**, C., Kocsis, I., Irimuș, I.-A. & Balint-Balint, L. (2023b). An evaluation of LIDAR, EU-DEM And SRTM-derived terrain parameters for hydrologic applications in Țibleș and Rodnei Mountains. *Riscuri și catastrofe*, 32(1), 20. https://doi.org/10.24193/R CJ2023_1
63. Talchabhadel, R., Shakya, N.M., Dahal, V. & Eslamian, S. (2015). Rainfall Runoff Modelling for Flood Forecasting (A Case Study on West Rapti Watershed), *Journal of Flood Engineering*, 6, 1, 53-61

64. Tedela, N. H., McCutcheon, S. C., Rasmussen, T. C., Hawkins, R. H., Swank, W. T., Campbell, J. L., Adams, M. B., Jackson, C. R. & Tollner, E.W. (2012). Runoff curve numbers for 10 small forested watersheds in the mountains of the eastern United States. *J. Hydrol. Eng.*, *17*, 1188–1198. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000436](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000436)
65. Tsanakas, K., Gaki-Papanastassiou, K., Kalogeropoulos, K., Chalkias, C., Katsafados, P., & Karymbalis, E. (2016). Investigation of flash flood natural causes of Xirolaki Torrent, Northern Greece based on GIS modeling and geomorphological analysis. *Natural Hazards*, *84*(2), 1015–1033. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2471-1>.
66. USACE (1998). *HEC-1.Flood Hydrograph Package. User's manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA U.S.A
67. USACE (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA U.S.A.,
68. USDA-NRCS, (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. 210-VI-TR-55, Second Ed., U. S. Dept. of Agriculture, Washington D. C.:
69. Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt Junior, A. T., Van Mullem, J. A. & Quan, D. Q (2003). Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: 2003 World Water And Environmental Resources Congress, Philadelphia. Proceedings Reston: ASCE., 1-10. [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)308](https://doi.org/10.1061/40685(2003)308)
70. Zaharia, L., Bui, D. T., Prăvălie, R., & Ioana-Toroimac, G. (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), 229–247. <https://doi.org/10.1007/s11707-017-0636-1>
71. Zambrano-Bigiarini, M. (2020). *Package hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series*. Disponibil online la: <https://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/hydroGOF.pdf>, R package version 0.4- 0, accesat în 15.06.2022.
72. Zhang, X., & Srinivasan, R. (2010). GIS-based spatial precipitation estimation using next generation radar and raingauge data. *Environmental Modelling and Software*, *25*(12), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.05.012>
73. *** EEA (2017). *European Environment Agency, Copernicus Land Monitoring Service. CLC 2006*. Disponibil online la: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006>, accesat în 06.01.2017.

74. *** EEA (2018). *European Environment Agency, Copernicus Land Monitoring Service. CLC 2012*. Disponibil online la: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>, accesat în 06.12.2018.
75. *** EEA (2020). *European Environment Agency, Copernicus Land Monitoring Service. CLC 2018*. Disponibil online la: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>, accesat în 04.01.2020
76. *** <https://geoportal.igr.ro/viewgeol200k>, accesat în 11.09.2022
77. *** METEOMANZ (2017). *SYNOP/BUFR observations. Data by hours*. Disponibil online la: <http://www.meteomanz.com/>, accesat în 05.06.2017
78. *** R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. Disponibil online la: <https://www.R-project.org/>, accesat în 10.07.2022
79. *** RP5 (2017). *Reliable prognosis*. Disponibil online la: <https://rp5.ru/>, accesat în 04.06.2017
80. *** RStudio Team (2022), *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Rstudio. PBC, Boston, MA. Disponibil online la: <http://www.rstudio.com/>, accesat în 10.07.2022
81. *** The MathWorks Inc. (2023). *MATLAB version: 9.14.0 (R2023a) Update 2*, disponibil la: <https://matlab.mathworks.com/>, accesat în 26.04.2023.