

Universitatea “Babeş-Bolyai”, Cluj-Napoca
Facultatea de Geografie
Catedra de Geografie Fizică și Tehnică

TEZĂ DE DOCTORAT

- rezumat -

Estimarea indirectă, cu ajutorul GIS, a umezelii
solului în scopul modelării viiturilor pluviale.
Aplicații în Munții Apuseni

Coordonator științific:
Prof. Univ. Dr. HAIDU Ionel

Doctorand:
CRĂCIUN Augustin Ionuț

Cluj-Napoca

2011

CUPRINS

LISTA FIGURILOR ȘI TABELELOR	1
1. INTRODUCERE.....	7
2. MOTIVAȚIA, OBIECTIVELE CERCETĂRII ȘI LOCALIZAREA GEOGRAFICĂ A BAZINELOR DE STUDIU	11
2.1 MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI DE CERCETARE	11
2.2 OBIECTIVELE CERCETĂRII	13
2.3 ELEMENTE DE LOCALIZARE GEOGRAFICĂ A BAZINELOR DE STUDIU	14
3. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL. 19	
3.1. STUDIUL UMEZELII SOLULUI LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL	19
3.2. STUDIUL MODELĂRII VIITURILOR LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL.....	28
4. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE.....	33
4.1 BAZA DE DATE CARTOGRAFICĂ	33
4.2 BAZA DE DATE NUMERICĂ (VALORICĂ).....	34
4.3 REALIZAREA BAZEI DE DATE GIS PRIMARĂ.....	37
4.4 REALIZAREA BAZEI DE DATE GIS DERIVATE	52
5. METODOLOGIE CLASICĂ DE ESTIMARE INDIRECTĂ A UMEZELII SOLULUI.....	61
5.1. CONTEXT METODOLOGIC GENERAL	61
5.2. INDICI DE CARACTERIZARE A STĂRII DE UMEZEALĂ A SOLULUI.....	63
5.3. METODA SCS PENTRU ESTIMAREA INDIRECTĂ A INFILTRAȚIEI CUMULATIVE.....	70
5.4. METODA BILANȚULUI PENTRU ESTIMAREA INDIRECTĂ A UMEZELII SOLULUI	77
6. METODOLOGIE GIS PENTRU ESTIMAREA INDIRECTĂ A UMEZELII SOLULUI	87
6.1. FUNCȚII GIS UTILIZABILE PENTRU STUDIUL UMEZELII SOLULUI.....	87
6.2. ALGORITM GIS DE ESTIMARE A INFILTRAȚIEI CUMULATIVE UTILIZÂND METODA SCS	92
6.2.1 Considerații generale	92
6.2.2 Modulul GIS dezvoltat	95
6.2.3 Reprezentarea spațială a parametrilor algoritmului	97
6.2.4 Aplicații și rezultate.....	111
6.3. ALGORITM GIS DE ESTIMARE A UMEZELII SOLULUI UTILIZÂND METODA BILANȚULUI	120
6.3.1 Considerații generale	120
6.3.2 Modulul GIS dezvoltat	122
6.3.3 Reprezentarea spațială a parametrilor algoritmului	124
6.3.4 Aplicații și rezultate.....	141

7. STUDIU HIDROPEDOLOGIC LA NIVELUL UNUI BAZIN EXPERIMENTAL	146
7.1 PREZENTARE GENERALĂ A BAZINULUI EXPERIMENTAL	147
7.2 COLECTAREA DATELOR PEDOLOGICE ÎN TEREN	149
7.2.1 Realizarea profilelor de sol.....	149
7.2.2 Descrierea profilului de sol și recoltarea probelor.....	151
7.3 CARACTERISTICI PEDOGEOGRAFICE CU ROL ÎN DETERMINAREA REZERVEI DE APĂ DIN SOL	155
7.4 SPECIFICUL BAZEI DE DATE GIS PENTRU ELEMENTELE PEDOLOGICE COLECTATE DIN TEREN	163
7.5 DETERMINAREA INDICILOR HIDROFIZICI AI SOLULUI.....	166
8. MODELAREA VIITURILOR PLUVIALE ȚINÂND CONT DE CONDIȚIILE DE UMEZEALĂ A SOLULUI.....	170
8.1 CONTEXT METODOLOGIC GENERAL PRIVIND MODELAREA VIITURILOR	172
8.2 ALGORITM GIS DE MODELARE A VIITURILOR CUNOSCÂND CONȚINUTUL DE APĂ DIN SOL.....	178
8.2.1 Estimarea precipitației nete și a coeficientului de scurgere	181
8.2.1.1 <i>Ecuatii de calcul</i>	181
8.2.1.2 <i>Metodologie GIS</i>	184
8.2.1.3 <i>Aplicații și rezultate</i>	187
8.2.2 Integrarea scurgerii pe versanți prin metoda izocronelor digitale.....	197
8.2.2.1 <i>Metodologie GIS pentru estimarea timpilor de parcurgere/concentrare</i>	199
8.2.2.2 <i>Calculul debitelor maxime în secțiuni fără măsuratori</i>	205
8.2.2.3 <i>Aplicații și rezultate</i>	206
9. VALIDAREA MODELULUI GIS DE ESTIMARE A VIITURILOR PLUVIALE BAZAT PE STUDIAREA CONDIȚIILOR DE UMEZEALĂ A SOLULUI.....	222
9.1. PROCEDURI DE VALIDARE. ASPECTE GENERALE.....	222
9.2 STUDIU DE CAZ: VIITURA DIN IULIE 2005 DE PE RĂURILE SOMEȘUL CALD ȘI BELIȘ.....	224
9.2.1. Context genetic	224
9.2.2. Analiza hidrografelor de viitură obținute din măsurători la stațiile hidrometrice	225
9.2.3. Implementarea modelului GIS.....	228
9.2.4. Hidrograf de viitură modelat vs. hidrograf de viitură măsurat	230
9.3. CONCLUZII	234
10. CONCLUZII	236
11. BIBLIOGRAFIE.....	241
12. GLOSAR DE TERMENI	258
ANEXE	264

Cuvinte cheie: *estimare, umezeala solului, GIS, modelare, viituri, Munții Apuseni.*

1. INTRODUCERE

De-a lungul timpului România s-a confruntat cu o serie de probleme legate de manifestarea viiturilor. Dacă multă vreme arealele deluroase, cu un procentaj mai redus în privința gradului de împădurire, cu un substrat favorabil producerii și transferului de aluviuni, prezentau un nivel ridicat al vulnerabilității la declanșarea de viituri, în ultimul deceniu se asistă tot mai mult la o creștere a situațiilor caracterizate de acest eveniment hidric extrem și în zona montană. O explicație ar putea-o constitui reducerea semnificativă a suprafețelor împădurite cu influență asupra vitezei de scurgere, timpului de concentrare, a coeficienților de scurgere etc. Setul de factori este completat, totodată, de frecvența crescută a ploilor cu intensitate mare (în special în sezonul estival).

În estimarea cantității de apă disponibile pentru scurgere în urma unei ploi, un rol important îl deține umezeala solului. Momentul generării scurgerii de suprafață depinde de gradul de saturare în apă al solului, condiționat la rândul său, atât de caracteristicile pluviometrice anterioare, cât și de caracteristicile fizice ale solului (textura, structura, grosimea profilului de sol, porozitatea, permeabilitatea, capacitatea de retenție, capacitatea de infiltrare etc.).

Prin intermediul acestei lucrări ne propunem dezvoltarea unei metodologii GIS de estimare indirectă a umezelii solului care să ajute la anticiparea în timp real a cantității de apă disponibilă pentru scurgere și mai apoi la integrarea scurgerii pe versanți. Se urmărește, așadar, ca, în condițiile prognozării unei anumite cantități de precipitații pentru ziua i , cunoscându-se condițiile anterioare de umezeală și calculându-se stratul de apă infiltrat, să se poată estima cantitatea de apă disponibilă pentru generarea viiturii.

Lucrarea este structurată pe opt capitole principale, în urma unei sinteze putându-se desprinde următoarea succesiune de etape care stau la baza elaborării temei de cercetare: fixarea obiectivelor – studiul nivelului de cunoaștere al domeniului – selectarea metodelor de studiu – constituirea bazei de date necesare – dezvoltarea și automatizarea algoritmilor GIS de estimare a infiltrației și umezelii solului – dezvoltarea și automatizarea algoritmului de modelare a viiturilor pluviale ținând cont de condițiile de umezeală a solului – validarea algoritmului GIS de modelare a viiturilor pluviale bazat pe condițiile de umezeală a solului.

2. MOTIVAȚIA, OBIECTIVELE CERCETĂRII ȘI LOCALIZAREA GEOGRAFICĂ A BAZINELOR DE STUDIU

2.2 Obiectivele cercetării

Încă din formularea titlului se pot deduce două obiective principale ale temei de cercetare:

- a). dezvoltarea unui algoritm GIS care să permită estimare indirectă a umezelii solului și a infiltrației din ploi la scară zilnică;
- b). dezvoltarea unui algoritm GIS de modelare a scurgerii de suprafață și implicit a eventualelor viituri pluviale ținând cont de condițiile hidrologice ale solului.

Din aceste două obiective principale se desprinde o altă serie de obiective complementare care se referă la: 1) realizarea unui modul ArcGIS pentru implementarea automată a algoritmului de estimare a indirectă a umezelii solului pe bază de bilanț; 2) realizarea unui modul ArcGIS pentru implementarea automată a algoritmului de estimare a indirectă a infiltrației cumulative pe baza metodei SCS; 3) integrarea infiltrației și umezelii solului în algoritmul de estimare a scurgerii de suprafață; 4) realizarea de hărți digitale referitoare la infiltrație și umezeala solului la nivelul unor bazine hidrografice mici din Munții Apuseni; 5) realizarea de hărți digitale privitoare la scurgerea de suprafață (precipitație netă, coeficient de scurgere, volum scurs), prin evidențierea unor areale aflate în pericolul de a fi afectate de viituri, la nivelul unor bazine hidrografice mici din Munții Apuseni; 6) determinarea debitelor maxime prin generarea hidrografului scurgerii în diferite secțiuni ale unor bazine hidrografice mici din Munții Apuseni;

2.3 Elemente de localizare geografică a bazinelor de studiu

Pentru realizarea aplicațiilor de estimare indirectă a umezelii solului și mai apoi a scurgerii de suprafață generatoare de eventuale viituri au fost selectate patru bazine hidrografice mici situate în Munții Apuseni. În selectarea acestor bazine s-a ținut cont de complexitatea factorilor fizico-geografici, de surprinderea mai multor trepte de altitudine, de existența unor așezări umane și nu în ultimul rând date meteorologice disponibile.

Aceste patru bazine hidrografice sunt: *Bazinul Albac*; *Bazinul Beliș amonte de lacul Beliș-Fântânele*; *Bazinul Poșaga*; *Bazinul Călata amonte de localitatea Călata*.

În etapa de validare a modelului GIS de estimare a viiturilor pluviale bazat pe condițiile de umezeală a solului, studiul de caz a fost efectuat asupra a două bazine hidrografice din Munții Apuseni: *bazinul Belișului* amonte de Poiana Horea și *bazinul Someșului Cald* amonte de Smida; doar pentru aceste bazine s-a dispus de un set de date hidrometrice necesare validării.

În cadrul temei de cercetare, cu ocazia diferitelor publicații/manifestări științifice, au mai fost elaborate studii și asupra altor bazine hidrografice: Săcuieu, Iada, Drăgan, Căpuș, Pârâul Mare, Nadăș, Stolna, Râșca, Neagra, Valea Mare, Ampoi.

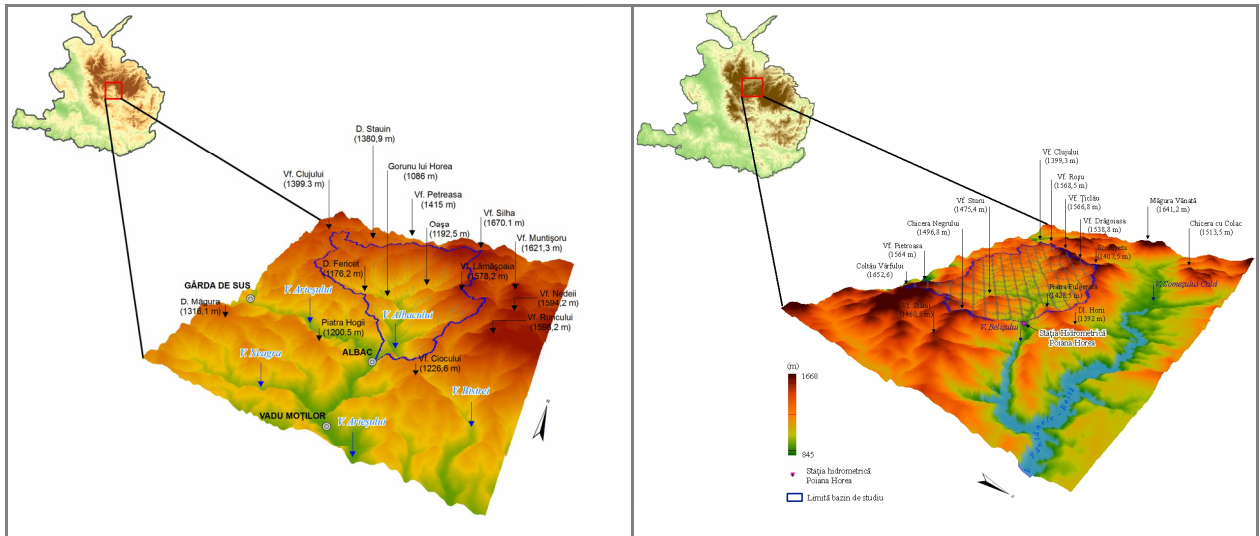


Fig. 2.1. Elemente de localizare geografică a Bazinului Hidrografic Albac

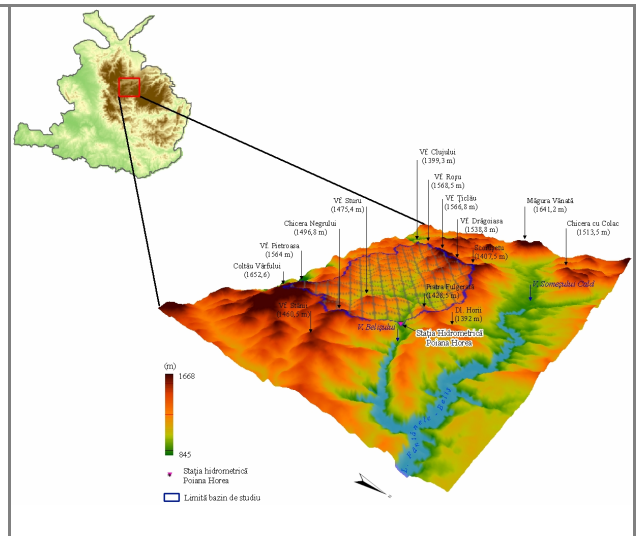


Fig. 2.2. Elemente de localizare geografică a Bazinului Hidrografic al Belișului

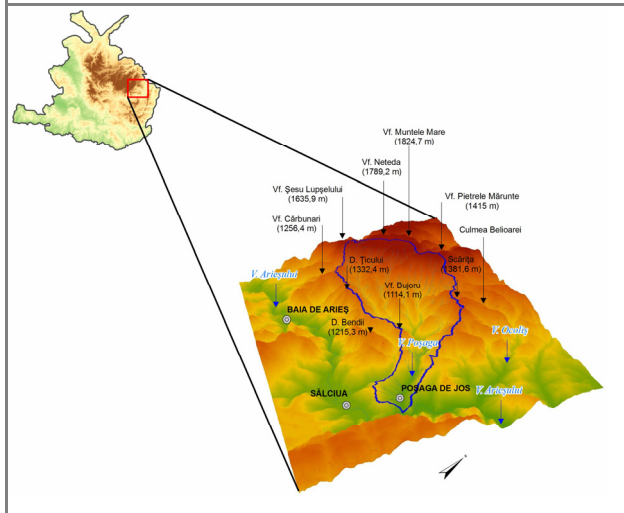


Fig. 2.3. Elemente de localizare geografică a Bazinului Hidrografic Poșaga

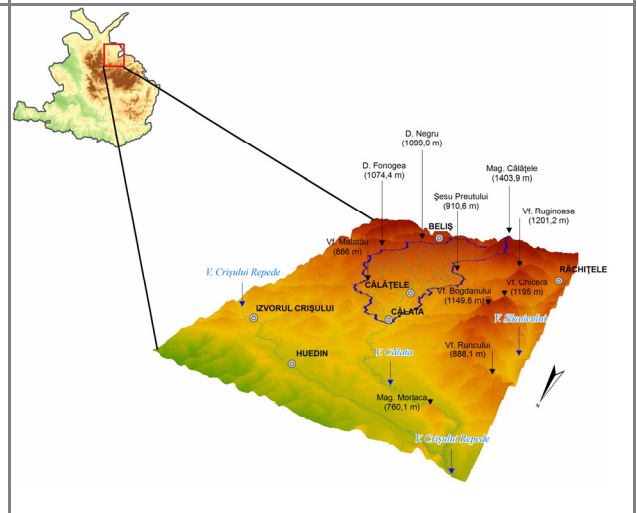


Fig. 2.4. Elemente de localizare geografică a Bazinului Hidrografic Călata amonte de localitatea Călata

3. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE LA NIVEL NAȚIONAL ȘI INTERNAȚIONAL

3.1. Studiul umezelii solului la nivel național și internațional

În România există destul de puține studii asupra umezelii solului în scopul includerii în modele de evaluare a viiturilor. Cele mai multe analize au vizat, fie caracterizarea stării de umezeală a unui teritoriu la o scară temporală destul de mare (nivel sezonier, anual sau multianual), fie studierea caracteristicilor hidrofizice ale solurilor în scopuri agricole. Ujvari I. (1972), în lucrarea *Geografia apelor României*, ia în calcul, pentru determinarea scurgerii pe bază de bilanț, umezirea medie totală a solului (W_0). Autorul menționează faptul că valoarea

umezirii totale a solului depinde în cea mai mare măsură de umiditatea climei, studiindu-se, totodată, relația dintre umezirea totală a solului medie pe bazin și altitudinea medie a bazinelor (**Fig. 3.1**). Relația W_0 este pusă pe seama zonalității altitudinale regionale a componentelor evapotranspirație (care scade cu altitudinea), respectiv scurgere subterană (care crește cu altitudinea). *Haidu I. et colab. (2003)* analizează a starea de umezeală a solului în raport cu riscul de producere a evenimentului extrem (exces de umiditate sau seceta hidrologică). Pentru exprimarea sezonality parametrilor bilanțului hidric și dinamica relației precipitații-scurgere la scară lunară *Vandewiele și colab. (1993)*, citat de *Haidu I. et colab. (2003)*, au elaborat așa numitele modele V.U.B (Vrije Universiteit Brussels). Acestea sunt modele deterministe cu parametri concentrați care simulează componentele bilanțului hidric la scara bazinului hidrografic. *Simota M. și Mic Rodica (1993)* citat de *Mic Rodica, Corbuș C. (1999)* au elaborat o relație de calcul bazată pe bilanț, în care se ține cont de suma precipitațiilor anterioare, precipitațiile medii zilnice, evapotranspirația, numărul de zile fără precipitații, coeficientul de scurgere (dependent de o serie de caracteristici fizico-geografice: panta terenului, textura solului, modul de utilizare a terenurilor etc.).

La nivel internațional, studiile asupra caracteristicilor hidrice ale solului au cunoscut o evoluție destul de accentuată, metodele tradiționale fiind completate de o serie de metode indirecte bazate pe modele numerice, aparatură specializată sau pe tehnici de teledetecție. *Hillel D. (1988)* tratează foarte amănunțit în lucrarea sa toate procesele hidrice care au loc în sol. Lucrarea debutează cu o analiză a proprietăților fizice ale solului (textura, granulometria, structura etc.) și a apei (structura moleculară, densitatea, presiunea vaporilor, capilaritatea, presiunea osmotică, vâscozitatea etc.), după care se trece la o analiză a proceselor care compun ciclul apei la nivel pedogeografic (infiltrația, redistribuția apei din sol după infiltrație, drenajul subteran, evapotranspirația, utilizarea apei de către plante etc.). Pentru modelarea procesului de infiltrație, *Musy A., (1998)* prezintă două tipuri de modele: *modele bazate pe relații empirice cu 2, 3, 4 parametri și modele fizice*. USDA a propus, prin intermediul *SCS National Handbook (1972)*, pentru estimarea *infiltrației cumulative (mm)*, o relație dependentă de cantitatea de precipitații recepționată de bazin, pierderile inițiale, potențialul maxim de retenție (*Musy A., 1998*). Estimarea gradului de umezire al solului prin intermediul *teledetecției* reprezintă obiectul multora dintre cercetările internaționale (*Pardé M., (2003)*, *Gao H. et colab., (2004)*; *M. Susan Moran et. colab., (2004)*; *Baghdadi N. et colab. (2005)*; *Maria Jose Escorihuela (2006)*; *Tischler M. et colab., (2007) ș.a.*

3.2. Studiul modelării viiturilor la nivel național și internațional

Au fost elaborate, așadar, o serie de modele care să simuleze comportamentul bazinului hidrografic pentru diferite condiții pluviometrice. Există, la nivel internațional, numeroși cercetători care au tratat în lucrărilor lor, probleme privitoare la scurgerea în cadrul bazinelor versant dintre care amintim: *Roche M., (1963), Ven te Chow Ph. D. (1964), Dubreuil P. (1974), Klemeš V. (1975), Ritzema H. P., (1994), Ambroise B. (1998), Musy A., Higy C. (1998), Bois P.H. (2000), Laborde J. P., (2000), Beven J. K., (2001), Belfort B. (2006), Okonski, B. et al. (2007), Lenar-Matyas A. et al. (2009), Ghanshyam Das (2009) ș.a.*

Musy A., (1998) descrie principale tipuri de modele separând: modele fizice, modele matematice, modele deterministe, modele stochastice. *Ven te Chow Ph. D. (1964)*, prezintă pentru sublinierea relației ploaie-scurgere două metode: corelarea scurgerii cu indicele de precipitații anterioare (API) și formula rațională. *Sherman (1932)* propune pentru determinarea hidrografului de viitură o metodă bazată doar pe hietograma ploii nete – *metoda hidrografului unitar (HU)* analizată și utilizată pe scară largă (*Roche M., 1963; Ven te Chow Ph. D. 1964; Dubreuil P., 1974; Șerban P. Et colab., 1989; Musy A., 1998; Haidu I. 2006*).

Ogden L. F. et. colab. (2001), realizează o analiză a unor module S.I.G dezvoltate pentru aplicarea unor modele hidrologice precum: ARC/INFO Hydrologic Routines, GRASS, GIS/HEC-1, HEC-Geo HMS, WMS (**W**atershed **M**odeling **S**ystems), MMS/PRMS (**M**odular **M**odeling **S**ystem, **P**recipitation **R**unoff **M**odeling **S**ystem) ș.a. Alte modele hidrologice implementate în GIS: *HEC-HMS- (H*ydrologic **M**odeling **S**ystem); *SHE (S*ystème **H**ydrologique **E**uropéen); *TOPMODEL; SCS-CN (S*oil **C**onservation **S**ervices – **C**urve **N**umber); *LTHIA-GIS (L*ong-**T**erm **H**ydrologic **I**mpact **A**ssessments); *AGWA (A*utomated **G**eospatial **W**atershed **A**ssessment); *KINEROS (K*inematic **R**unoff and **E**rosion **M**odel); *SWAT (S*oil **W**ater **A**ssessment **T**ool); *HydroTools; ArcHydro* ș.a.

4. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE

4.1 Baza de date cartografică

În ceea ce privește baza de date cartografică, pentru studiul umezelii solului și al viiturilor este nevoie de utilizarea următoarelor tipuri de hărți:

- a). *hărți topografice 1:50.000; 1:25.000* de pe care au fost digitizate următoarele elemente:
 - curbele de nivel;
 - rețeaua hidrografică;
 - localitățile;

b). *hărți pedologice 1:200.000*

Au reprezentat suportul pentru constituirea unei baze de date digitale referitoare la tipul de sol, textura, structura solului utilizând foliile de hartă achiziționate de la ICPA Bucuresti.

c). *baza de date Corine Land Cover 2000* pentru analiza modului de utilizare a terenurilor, realizată la scara 1:100.000.

d). *hărți geologice 1:200.000*

Datele geologice prezintă importanță în evidențierea rolului rocii în geneza solurilor. Ca urmare, au fost vectorizate de pe hărțile geologice 1:200.000 tipurile de roci din cadrul celor patru bazine de studiu.

4.2 Baza de date numerică (valorică)

Baza de date numerică necesară elaborării lucrării are următoarea structură:

a). *date meteorologice* înregistrate la stațiile meteorologice și posturile pluviometrice din perimetrul și/sau din vecinătatea bazinelor de studiu. Principalele tipuri de date meteorologice necesare pentru estimarea umezelii solului și a viiturilor se referă la:

- *precipitații medii zilnice;*
- *temperaturi medii zilnice;*
- *temperaturi maxime și minime zilnice;*
- *presiunea atmosferică medie lunară;*

b). *date hidrologice (debite maxime)* înregistrate la stațiile hidrometrice. Aceste tipuri de date sunt necesare pentru validarea modelelor de estimare a scurgerii maxime.

4.3 Realizarea bazei de date GIS primară

a). Pentru unele aplicații, informațiile legate de *altitudine*, ca suport în analiza spațială a configurației reliefului din cadrul unui bazin hidrografic, au avut la bază hărți topografice 1:50:000 și hărți topografice 1:25.000. Foile de hartă au fost georeferențiate utilizând sistemul de proiecție **Stereo 1970**, după care s-a realizază digitizarea (vectorizarea) curbelor de nivel (**Fig. 4.3**).

b). *Rețeaua hidrografică* a fost digitizată de pe hărți topografice 1:25.000, baza de date atribut conținând informații referitoare la denumirea cursurilor hidrografice, lungimea cursurilor hidrografice, tipologia cursurilor hidrografice (permanent, temporar) (**Fig. 4.4**). Pentru evidențierea stadiului de evoluție a rețelei de drenaj a fost determinat, utilizând extensia StreamOrder, ordinul rețelei hidrografice.

Folosind hărți topografice 1:25.000 a fost constituită, totodată și o bază de date vector tip poligon asupra *localităților* aferente celor patru bazine.

c). În ceea ce privește **substratul geologic**, a fost constituită, pentru cele patru bazine, o bază de date GIS vector tip poligon, conținând drept atribute tipul rocilor. Vectorizarea a avut ca suport hărți geologice la aceeași scară ca și cele pedologice, 1:200.000.

c). Cu privire la **învelișul pedosferic** a fost realizată o bază de date GIS format vector de tip poligon (**Fig. 4.6, 4.7, 4.8, 4.9**): având drept suport hărți pedologice 1:200.000, precum și diverse studii de specialitate. Baza de date atribuit conține, așadar, informații referitoare la: tipologia solurilor, simboluri conform SRTS 2003, textură, structură, grup hidrologic de sol (HSG).

d). Pentru caracterizarea **modului de utilizare a terenurilor** a fost utilizată baza de date Corine Land Cover 2000. Stratul vector tip poligon referitor la utilizarea terenurilor prezintă o detaliere spațială comparabilă cu o hartă 1:100.000.

4.4. Realizarea bazei de date GIS derivate

Acest subcapitolul are drept scop prezentarea modalităților de generare a unei baze de date raster, cu accent asupra caracteristicilor morfometrice ale suprafeței de drenaj (Model Digital de Elevație, panta, lungimea pantei, expoziția versanților, umbrirea, curbura în plan, curbura verticală etc.). Această bază de date a fost generată pentru toate bazinele analizate însă ne vom rezuma la a prezenta doar două elemente (modelul digital de elevație și panta terenului) cu importanța mai mare în modelare și doar pentru bazinul Albac.

Modelul digital de elevație (DEM), cunoscut frecvent și sub numele de model numeric al terenului (MNT) sau model digital al terenului (DTM), are rolul de a reda configurația terenului în mod continuu din punct de vedere spațial (*Moore I.D. et colab., 1991; Hengl T. et colab., 2003*). Reprezentarea cartografică a altitudinilor și implicit a configurației reliefului mai poartă denumirea de hartă hipsometrică. În prezentăm hărțile hipsometrice realizate pentru cele patru bazine de studiu și histogramele aferente. Pentru realizarea aplicațiilor în cadrul prezentului studiu s-a preferat utilizarea unui DEM obținut din baza de date ASTER (**A**dvanced **S**paceborne **T**hermal **E**mission and **R**eflection **R**adiometer) la o rezoluție spațială de 21.5 m. Acest Model Digital de Elevație se caracterizează printr-o precizie apropiată de cea redată de hărțile topografice 1:25.000. În **fig. 4.17** ne rezumăm la a prezenta doar harta hipsometrică a bazinului Albac.

Panta terenului constituie elementul morfometric cu importanță majoră în cadrul sistemului hidrologic, influențând un complex de parametri precum: viteza de infiltrație, ascensiunea capilară, capacitatea de retenție a apei în sol, scurgerea hipodermică, viteza și direcția de scurgere a apei pe versanți, volumul de apă ce alimentează cursul hidrografic ca

urmare a scurgerilor pe versanți, timpul de întârziere și cel de concentrare. În **fig. 4.21** ne rezumăm la a prezenta distribuția pantelor pentru bazinul Albac, redate pe structură raster cu o rezoluție spațială de 21,5 m.

5. METODOLOGIE CLASICĂ DE ESTIMARE INDIRECTĂ A UMEZELII SOLULUI

5.1. Context metodologic general

a). Metodele directe bazate pe prelevarea probelor de sol și studierea lor în laborator. Se pot aplica fie prin extragerea apei din proba prelevată (metoda uscării la temperaturi ridicate – *metoda gravimetrică*, metoda arderii cu alcool, metoda reacțiilor chimice – cu acid sulfuric sau nitrat de amoniu), fie prin procedee care utilizează diferența dintre densitatea apei și cea a solului sau procedee bazate pe absorbția diferitelor radiații.

b). Metodele indirecte se pot aplica fie “in situ”, prin utilizarea unei aparaturi, fie de la distanță, prin intermediul tehnicilor de teledetecție sau a unor modele numerice bazate pe studiul parametrilor fizici ce determină desfășurarea procesului de umezire a solului. În această categorie intră metode precum: *metoda tensiometrică*; *metoda electroconductometrică*; *metoda reflectometrică* (TDR – **T**ime **D**omain **R**eflectometry sau FDR – **F**requency **D**omain **R**eflectometry); *metoda neutronică*; *tehnici specifice teledetecției*; *indici pentru caracterizarea stării de umezeală a solului*; *modele numerice*; *tehnici bazate pe analize GIS*.

5.2. Indici de caracterizare a stării de umezeală a solului

Utilizați pentru evidențierea extremelor hidrice – seceta și excesul de umiditate; majoritatea se bazează pe informații meteorologice asupra arealului de studiu la scara lunară, anuală sau multianuală; astfel de indici amintim: indici hidrofizici ai solului (coeficientul de higroscopicitate, coeficientul de ofilire etc.), indicele De Martonne, indicele global de umiditate Thornthwaite, indicele de umiditate Seleaninov-Budîco, indicele Koncek, indicele Lang, indicele Palmer pentru evaluarea severității secetei (PDSI), indicele standardizat de precipitații (SPI), indicele de infiltrație al ploilor ș.a.

5.3. Metoda SCS pentru estimarea indirectă a infiltrației cumulative

SCS (Soil Conservation Service) a propus, pentru estimarea infiltrației – *infiltrație cumulativă* (Musy A., Higy C., 1998), o relație dependentă de cantitatea de precipitații recepționată de bazin, pierderile inițiale, potențialul maxim de retenție:

$$F = \frac{S \cdot (P - I_a)}{P - I_a + S} \quad (5.20)$$

- unde:

F – infiltrația cumulativă (mm)

P – cantitatea de precipitații (mm);

I_a – pierderile inițiale (evapotranspirație, rețineri la nivelul coronamentului);

S – potențialul maxim al pierderilor (reținerilor);

În urma a numeroase experimente, SCS a propus pentru estimarea pierderilor inițiale (I_a) o relație empirică de forma (USDA, 1997; Mishra, S. K., Singh, V. P., 2003, Baltas E. A. et colab., 2007):

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (5.22)$$

Calculul parametrilor de retenție a apei se efectuează aplicând următoarele relații:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{când cantitatea de apă este exprimată în inches}); \quad (5.23)$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (\text{când cantitatea de apă este exprimată în mm}); \quad (5.24)$$

- unde: CN = f (sol, vegetație, modul de valorificare a solului, de utilizarea terenurilor, condițiile anterioare de umiditate)

Într-o primă etapă, se iau în calcul indicii CN_{II} pentru condiții normale de umezeală, urmând ca, în funcție de caz, să aibă loc o ajustare a acestora în raport cu condițiile anterioare de umezeală (AMC I, II sau III).

5.4. Metoda bilanțului pentru estimarea indirectă a umezelii solului

O metodă de caracterizare a stării de umezire a învelișului pedosferic este propusă de Simota M. și Mic Rodica (1993), și utilizată, ulterior, într-un studiu de estimare a debitelor maxime în cazul viiturilor rapide (Mic Rodica, Corbuș C., 1999). Această metodă se bazează pe o ecuație de bilanț ce ține cont de următorii parametri: coeficientul de scurgere, evapotranspirația, suma precipitațiilor medii zilnice pentru zece zile anterioare zilei de calcul, numărul de zile fără precipitații:

$$U = (1 - \alpha) \cdot \left(\sum_{i=1}^{10} P_i \right) - N \cdot E_t \quad (5.27)$$

- unde:

P_i - suma precipitațiilor medii zilnice

N - numărul de zile fără precipitații

α - coeficientul de scurgere

E_t - evapotranspirația

6. METODOLOGIE GIS PENTRU ESTIMAREA INDIRECTĂ A UMEZELII SOLULUI

6.1. Funcții GIS utilizabile pentru studiul umezelii solului

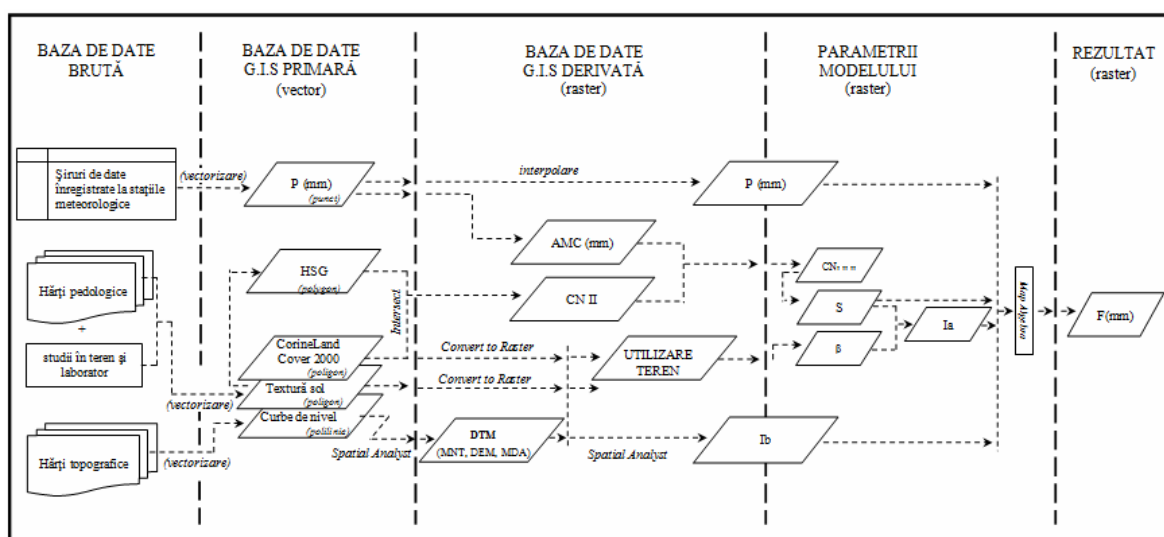
În acest subcapitol se analizează aspecte privind aportul tehnologiei GIS în elaborarea studiului: a. crearea unei baze de date GIS privitoare la parametrii care influențează umezeala solului; b. generarea unor noi seturi de date pornind de la date stocate inițial (ex. generarea DEM funcție de curbele de nivel digitizate de pe hărți topografice sau funcție de cote altitudinale stocate cu ajutorul tehnicii GPS); c. integrarea ecuațiilor de calcul a umezeli solului în mediul GIS; d. oferirea posibilității de construire a unor module pentru calculul automat al infiltrației, umezelii solului, scurgerii; e. reprezentarea cartografică a rezultatelor), după care se realizează o sinteză tabelară asupra principalelor funcții GIS ce se pot utiliza în studiul umezelii solului (Tabelul 6.1).

6.2. Algoritm GIS de estimare a infiltrației cumulative utilizând metoda SCS

6.2.1 Considerații generale

Studiind modelul SCS au fost observate unele neajunsuri care au impus câteva îmbunătățiri, credem noi, ale metodei prezentate în subcapitolul 5.3. Problema cea mai importantă o reprezintă neluarea în calcul a pantei și, implicit, a capacității de scurgere ce caracterizează fiecare suprafață. Incluzând acest parametru relația matematică de calcul a infiltrației cumulative va avea următoarea formă:

$$F = \frac{S \cdot (P - I_a)}{P - I_a + S} \cdot (1 - Ib/100) \quad - \text{unde: } Ib - \text{panta (grade)} \quad (6.1)$$



[P (mm) – suma zilnică a precipitațiilor; HSG – clasa hidrologică de sol; CN II – indicii Curve Number pentru condiții normale de umezeală anterioară; AMC – condițiile anterioare de umezeală în funcție de precipitațiile pe ultimele 5 zile; CN_{II} – indicii Curve Number adaptați condițiilor anterioare de umezeală; S – potențialul maxim de retenție; β – capacitatea vegetației de a întârzia drenarea către sol a apei interceptată inițial; I_a – pierderile inițiale; I_b – panta (grade); F (mm) – infiltrația cumulativă]

Fig. 6.1. Algoritm GIS de estimare a infiltrației cumulative folosind metoda SCS

Algorimul GIS dezvoltat în scopul determinării indirecte a infiltrației din ploii se bazează pe integrarea în mediul GIS a tuturor parametrilor ce definesc metoda SCS. Succesiunea de operații ce trebuie efectuate pentru calculul infiltrației cumulative este prezentată în **fig. 6.1**.

6.2.2 Modulul GIS dezvoltat

În scopul sintetizării etapelor de aplicare a algoritmului dar și reducerii volumului și a timpului de lucru am construit un modul ArcGIS capabil să realizeze calculul infiltrației cumulative în mod automat. În **fig. 6.2** se prezintă interfața grafică a modului dezvoltat. Datorită diferențierilor sezoniere în ceea ce privește, pe de o parte, influența precipitațiilor anterioare asupra stabilirii condițiilor anterioare de umezeală (AMC), iar pe de altă parte, influența

vegetației asupra coeficientului β , modulul a fost

împărțit în două submodule:

un submodule de calcul a infiltrației cumulative pentru perioada de vegetație (martie-septembrie); un submodule de calcul a infiltrației cumulative pentru perioada hibernală (octombrie-februarie).

După introducerea datelor amintite mai sus și rularea modulului se obțin, pe lângă rezultatul final infiltrația cumulativă, o serie de rezultate intermediare tip layer: indicele Curve Number, coeficient β , capacitatea maximă de retenție, pierderile inițiale, panta de terenului. Timpul de lucru al modulului până la obținerea rezultatelor

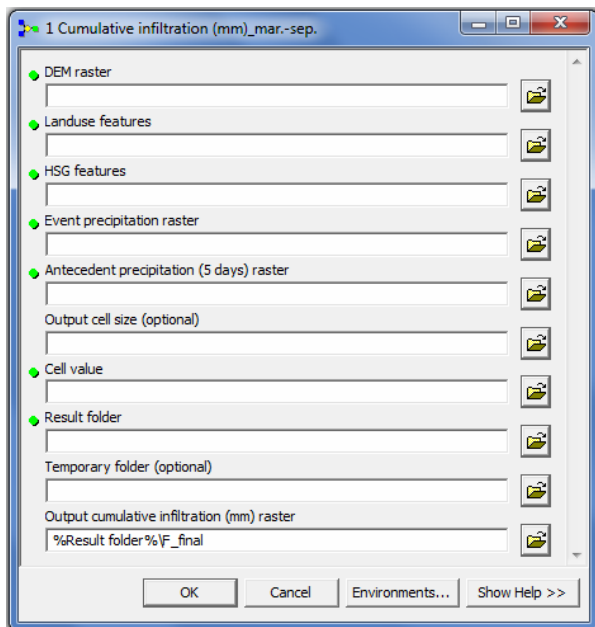


Fig. 6.2. Interfața grafică a modulului de calcul a infiltrației cumulative

este de ordinul minutelor, în funcție de performanțele computer-ului, de suprafața bazinului sau a arealului de studiu, precum și de rezoluția spațială la care se lucrează.

6.2.3 Reprezentarea spațială a parametrilor algoritmului

În această etapă se urmărește ca pentru fiecare parametru ce compune metoda SCS să se realizeze un layer format raster, iar mai apoi, utilizarea unor operații de algebră cartografică să conducă la obținerea de hărți ale infiltrației cumulative pentru diferite evenimente pluviometrice.

Fig. 6.3 prezintă setul de layere primare și derivate necesare analizei spațiale a infiltrației cumulative.

Spațializarea sumei zilnice de precipitații

Pentru reprezentarea spațială a sumelor zilnice de precipitații în zona Munților Apuseni am utilizat un algoritm bazat pe metoda Kriging luând în calcul și relieful, ca factor esențial în distribuția spațială a valorilor de precipitații. Acest model poate fi încadrat în categoria unui Kriging rezidual, un așa numit model de tendință.

Layer-ele raster asupra celorlalți parametri ai modelului (*indicii Curve Number, potențialul maxim de retenție, pierderile inițiale*) au fost obținute automat odată cu rularea modulului de calcul a infiltrației.

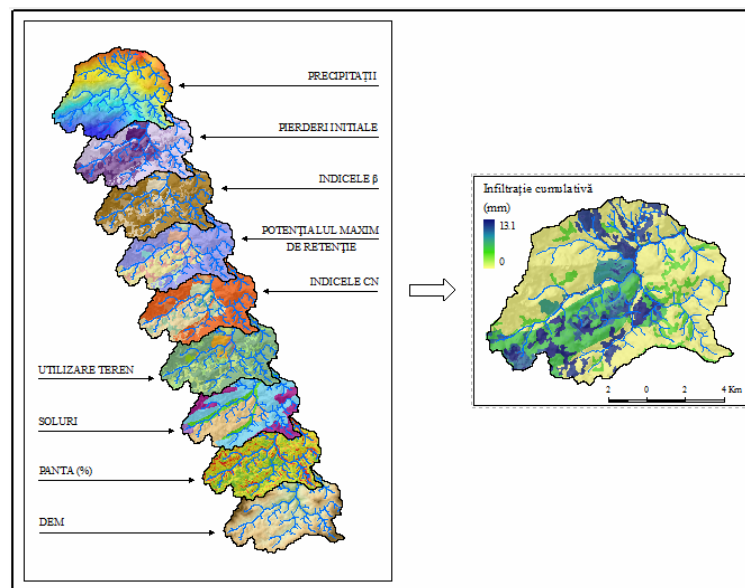


Fig. 6.3. Layere necesare pentru spațializarea infiltrației cumulative

6.2.4 Aplicații și rezultate

În această parte a lucrării se prezintă rezultatele obținute asupra infiltrației cumulative în cazul a câtorva evenimente pluviometrice înregistrate în zona de studiu. Două dintre intervalele selectate au fost aplicate pentru toate cele patru bazine de studiu: intervalul 16 – 19 iulie 2002, respectiv 07 – 10 august 2006. Cu ocazia altor studii (articole, referate de doctorat) au mai fost realizate aplicații ale metodologiei prezentate pentru estimarea infiltrației cumulative și pentru alte intervale cu ploi succesive. O astfel de aplicație a fost realizată la nivelul Bazinului Beliș și a vizat intervalul 18 – 30 octombrie 1992. O altă aplicație a fost realizată la nivelul Bazinului Poșaga și a vizat luna iunie a anului 1997. În continuare se prezintă spre exemplificare doar rezultatele obținute pentru intervalul 16 – 19 iulie 2002 la nivelul bazinelor Albac și Beliș.

Bazinul Albac. În ziua de 16 iulie 2002, deși cantitățile de precipitații au depășit pe alocuri 20 mm/m^2 , infiltrația a fost estimată pe suprafețe extinse la sub 6 mm, în puține cazuri fiind $> 6 - 8 \text{ mm}$ (**Fig. 6.19**). Suprafețele cu infiltrație $> 2 \text{ mm}$ se suprapun în general arealelor neîmpădurite din perimetrul localităților: Mățișești, Dirlești, Petreasa, Giurgiuț, Butești, Horea, Mancești,

Albac. În ziua de 17 iulie, pe fondul unor precipitații preponderent $> 30 \text{ mm/m}^2$, suprafața caracterizată prin infiltrație $> 6 - 8 \text{ mm}$ se extinde mult, valori de sub 2 mm rămânând doar în aria ocupată de pădurile de conifere caracterizate printr-o mai mare capacitate de interceptie.

Bazinul Beliș. În ziua de 16 iulie 2002 stratul de apă supus procesului de infiltrație a depășit pe suprafețe restrânse valoarea de 6 mm . Cea mai mare parte a bazinului s-a caracterizat prin valori ale infiltrației de sub 2 mm , chiar și 0 mm (**Fig. 6.20**).

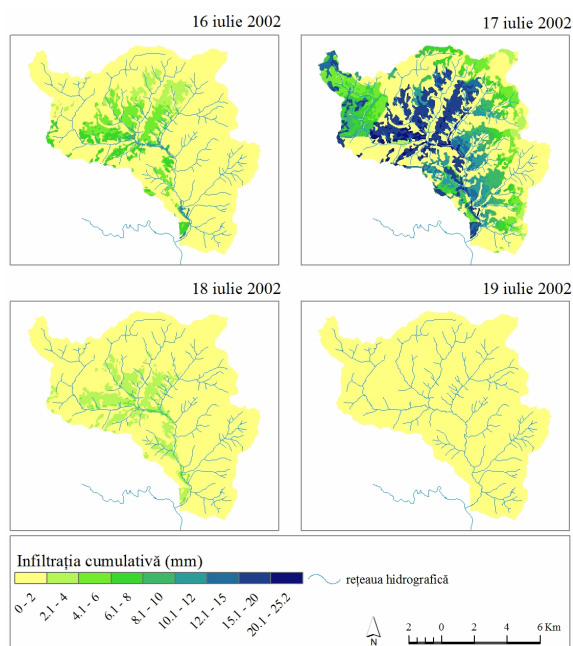


Fig. 6.1. Bazinul Albac. Distribuția spațială a infiltrației cumulative în perioada 16 - 19 iulie 2002

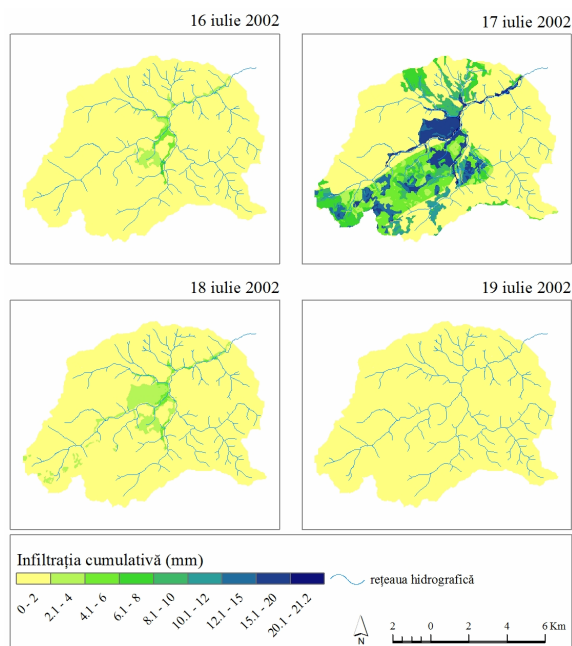


Fig. 6.20. Bazinul Belișului. Distribuția spațială a infiltrației cumulative în perioada 16 - 19 iulie 2002

Slaba manifestare a procesului de infiltrație se poate pune în primul rând pe seama unor cantități nu foarte ridicate ale precipitațiilor la nivelul acestui bazin ($2 - 6 \text{ mm/m}^2$ în sectorul inferior și mijlociul al bazinului, respectiv $6 - 12 \text{ mm/m}^2$ în sectorul superior). Desigur în afara factorului genetic, infiltrația scăzută, sau chiar absentă pe suprafețe extinse, este explicată de condițiile fizico-geografice ale bazinului (coeficient de împădurire $\approx 0,8$ precum și prezența unor soluri cu textură preponderent lutonisipoasă și lutoargiloasă, având capacități medii, chiar scăzută de infiltrație).

În ziua de 17 iulie 2002 se pune în evidență o extindere a ariei de manifestare a procesului de infiltrație. Valorile infiltrației cumulative se încadrează pe suprafețe destul de mari între $6-10 \text{ mm}$, depășind uneori chiar și valoarea de 20 mm . Caracteristicile fizico-geografice ale terenului fiind neschimbate, această creștere a infiltrației este explicată de manifestarea unor ploi abundente ce au depășit $20 - 30 \text{ mm/m}^2$. Cele mai ridicate valori se suprapun arealelor neîmpădurite aflate în primetrul localității Poiana Horea (**Fig. 6.20**). În zilele următoare scăderea cantităților de precipitații conduce la reducerea aportului de apă spre mediul pedosferic.

6.3. Algoritm GIS de estimare a umezelii solului utilizând metoda bilanțului

6.3.1 Considerații generale

Scopul capitolului îl constituie dezvoltarea unui algoritm GIS ce are drept suport utilizarea metodei bilanțului descrise în *Capitolul 5.4* pentru caracterizarea umezelii solului.

Similar algoritmului de calcul a infiltrației cumulative, a fost avută în vedere tot cinci componente pentru conceperea algoritmului GIS de estimare a umezelii solului. Înlănțuirea de operații ce trebuie efectuate este prezentată sub formă grafică în cadrul schemei generale a metodologiei GIS de estimare a umezelii solului folosind metoda bilanțului (**Fig. 6.31**).

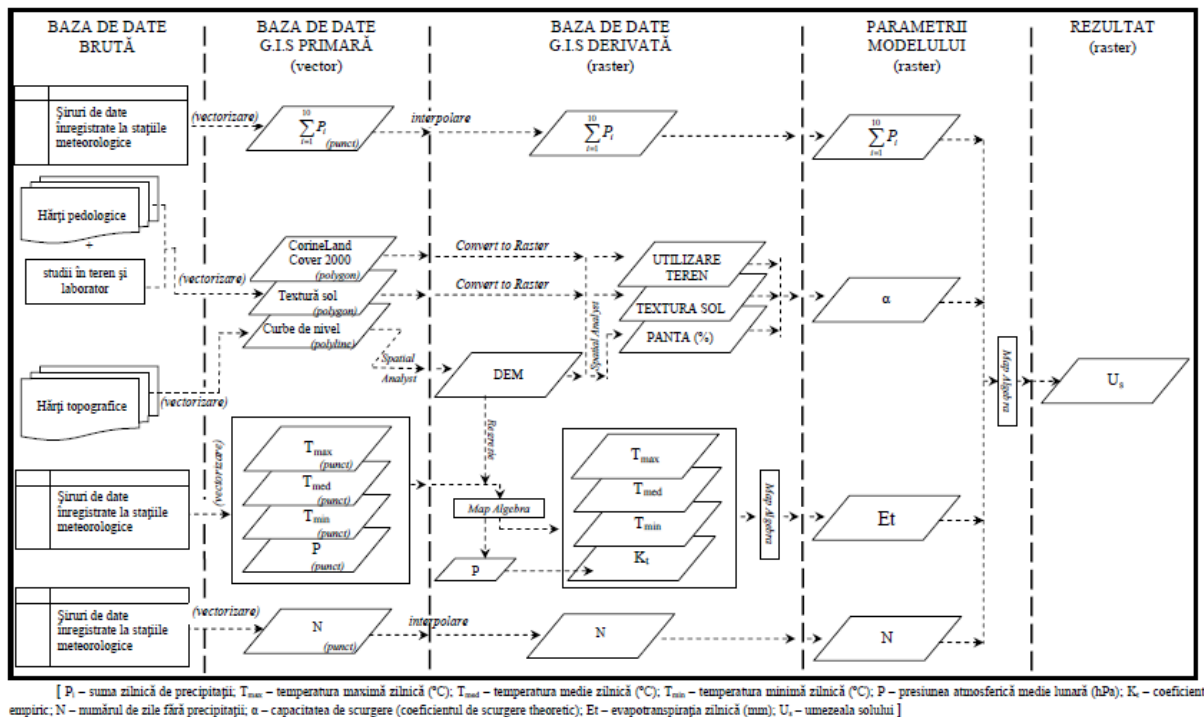


Fig. 6.31. Schematizarea algoritmului GIS de estimare a umezelii solului folosind metoda bilanțului

6.3.2 Modulul GIS dezvoltat

Ca și în cazul metodei de determinare a infiltrației cumulative, a fost construit un modul, un toolbox în ArcGIS în măsură să calculeze în mod automat umezeala solului la scară zilnică folosind metoda bilanțului descrisă mai sus. Modulul sau toolbox-ul a fost realizat în ArcGIS Model Builder și este alcătuit din trei părți componente (**Fig. 6.32**):

1. un submodul pentru determinarea evapotranspirației zilnice (*Daily Evapotranspiration*);
2. un submodul pentru determinarea coeficienților teoretici de scurgere (*Frevert Runoff Coefficient*);
3. un submodul pentru determinarea umezelii solului (*Soil Moisture*);

În **fig. 6.33** se prezintă interfața submodulului Soil Moisture, celelalte submodule, deoarece se adresează a doi dintre parametrii modelului (coeficientul de scurgere, respectiv

evapotranspirația), urmând a fi descrise în subcapitolul următor *Reprezentarea spațială a parametrilor algoritmului*).

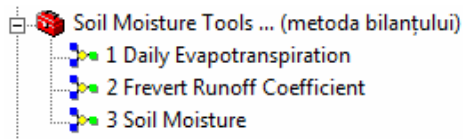


Fig. 6.32. Structura toolbox-ului dezvoltat în ArcGIS pentru estimare a umezelii solului folosind metoda bilanțului

6.3.3. Reprezentarea spațială a parametrilor algoritmului

Capitolul se concentrează, ca și în cazul modelului SCS, pe prezentarea metodologiei GIS de analiză spațială a tuturor variabilelor necesare aplicării metodei bilanțului; este vorba de parametri precum: precipitația zilnică, numărul de zile fără precipitații (pentru 10 zile anterioare), temperatura medie, maximă și minimă zilnică, presiunea atmosferică medie lunară, evapotranspirația zilnică, potențialul scurgerii de suprafață (coeficientul de scurgere teoretic).

Reprezentarea spațială a numărului de zile fără precipitații (N)

Parametrul N oferă o imagine asupra reducerii stocului de apă conținut de sol ca urmare a creșterii numărului de zile fără precipitații în care procesul dominant rămâne evapotranspirația. Generarea layerelor raster privitoare la numărul de zile fără precipitații a avut loc prin metoda de interpolare **Ordinary Kriging**.



Fig. 6.2. Interfața grafică a modului GIS dezvoltat pentru calculul umezelii solului folosind metoda bilanțului

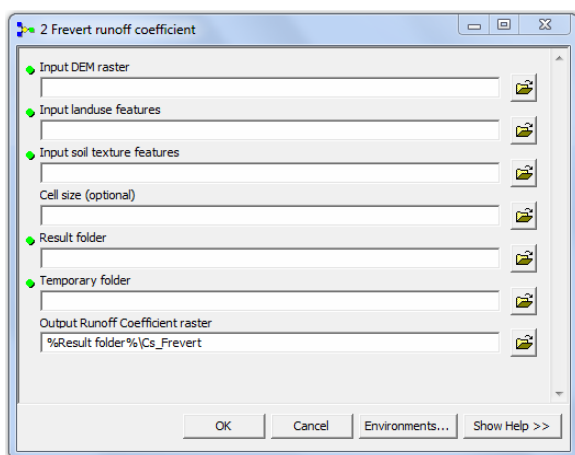


Fig. 6.35. Interfața submodului GIS de estimare acoeficienților de scurgere Frevert

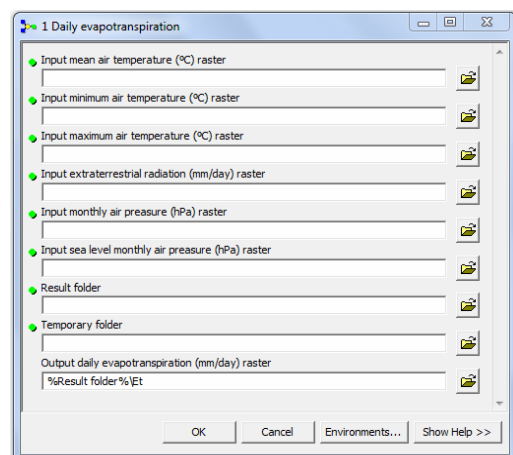


Fig. 6.38. Interfața grafică a submodului GIS dezvoltat pentru calculul evapotranspirației

Reprezentarea spațială a coeficientului de scurgere teoretic (α)

În sprijinul reprezentării spațiale a acestui coeficient de scurgere teoretic a fost realizat, în cadrul modulului de calcul a umezelii solului, un submodul (**Fig. 6.35**) care utilizează sintezele Frevert și are la bază o procedură de tip Unique Conditions Overlay.

Reprezentarea spațială a evapotranspirației zilnice

Reprezentarea spațială a evapotranspirației zilnice s-a realizat prin integrarea în mediul GIS a metodei Hargreaves-Samani. Prin intermediul submodulului dezvoltat (*Daily Evapotranspiration*) calculele se pot realiza în mod automat pentru fiecare zi de calcul. În **fig. 6.38** prezentăm interfața grafică a acestui submodul.

Pentru aplicarea sa este necesar ca, anterior, să se realizeze baza de date raster referitoare la: temperatura medie, minimă și maximă a aerului, presiunea atmosferică medie a lunii respective, presiunea atmosferică medie la nivelul mării în luna respectivă, radiația incidentă de la exteriorul atmosferei. În ceea ce privește repartitia spațială a evapotranspirației potențiale la nivelul celor patru bazine de studiu prezentăm spre exemplificare, în **fig. 6.47**, rezultatele obținute pentru ziua de 17 iulie 2002.

Există, totuși, zile, mai ales în sezonul estival, în care rezerva de apă din bazin se află sub valoarea evapotranspirației potențiale. În aceste condiții evapotranspirația reală va fi reprezentată de valoarea stocului de apă existent în bazin la momentul respectiv. Este vorba, desigur, despre apa interceptată de vegetație precum și de rezerva de apă din sol. În scopul determinării evapotranspirației reale a fost dezvoltat un algoritm ce funcționează și ca modul ArcGIS pentru realizarea automată a calculelor. Aplicând acest algoritm în cazul zilei oferite drept exemplu pentru distribuția spațială a evapotranspirației potențiale (**fig. 6.47**), s-a constatat faptul că pentru acest caz evapotranspirația reală corespunde evapotranspirației potențiale.

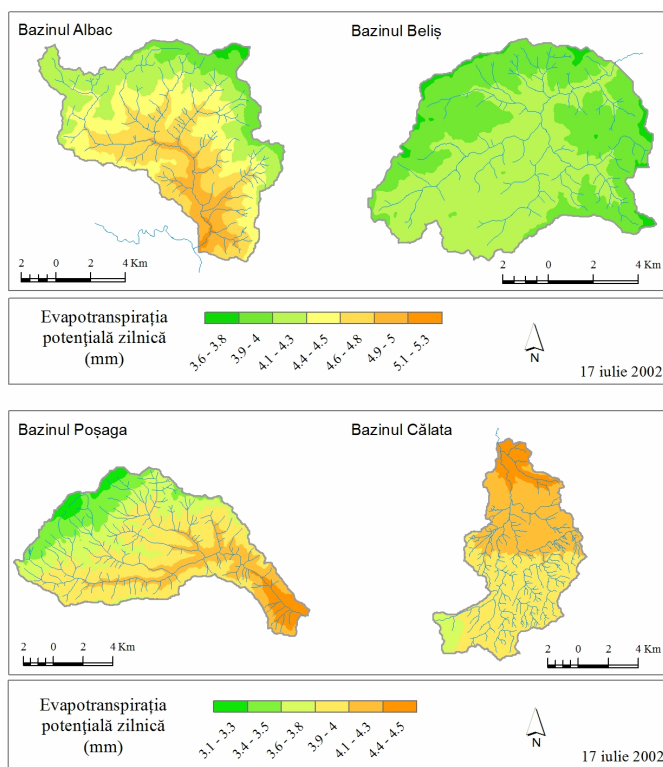


Fig. 6.47. Distribuția spațială a evapotranspirației potențiale zilnice la nivelul celor patru bazine de studiu (exemplu: 17 iulie 2002)

6.3.4. Aplicații și rezultate

Au fost realizate mai multe aplicații ale algoritmului de calcul a umezelii la nivelul celor patru bazine de studiu însă vom prezenta doar rezultatele obținute pentru zilele de 17 și 18 iulie 2002 pentru bazinele Albac și Beliș.

Sub raport spațial se evidențiază o creștere a umezelii în raport cu altitudinea; de asemenea o creștere a umezelii de la arealele cu soluri caracterizate prin textură fină (luto-argiloasă) la cele cu textură grosieră (nisipo-lutoasă). Totuși, trebuie menționat faptul că solurile cu textură fină, deși sunt cunoscute ca având o capacitate de infiltrație scăzută, au în schimb capacitate mai mare de retenție. În timpul unei ploi volumul de apă infiltrat în orizonturile superioare ale solurilor neîmpădurite este mai mare datorită interceptiei mult mai scăzute, însă expunerea la evapotranspirație este mai mare. Aceasta ar fi și explicația pentru care modelul estimează valori mai scăzute, uneori chiar deficit de umezeala la nivelul terenurilor agricole sau ocupate cu pășuni sau fânețe.

În **Bazinul Albac** valorile cele mai mari de umezeală estimate se suprapun unor soluri cu textură lutonisoasă caracterizate printr-o capacitate ridicată de infiltrație. Aceste valori maxime corespund, totodată, zonelor de convergență a rețelei de drenaj, pe fondul reducerii pantei terenului (**Fig. 6.50**). Capacitatea scăzută de cedare a apei în cazul solurilor cu textură argiloasă din sectorul superior al bazinului, amonte de confluența cursului hidrografic principal cu Valea Coșului, completată desigur și cantitățile însemnate de precipitații, explică acea creștere de umezeală din zonă în ziua de 18 iulie 2002.

În cazul **Bazinului Beliș**, umezeala destul de însemnată în ziua de 18 iulie 2002 (**Fig. 6.53**) poate fi pusă pe seama interceptiei și infiltrației generate de precipitațiile din ziua anterioară, precipitații a căror activitate continuă și în ziua de 18 iulie 2002 până la valori de 10-12 mm.

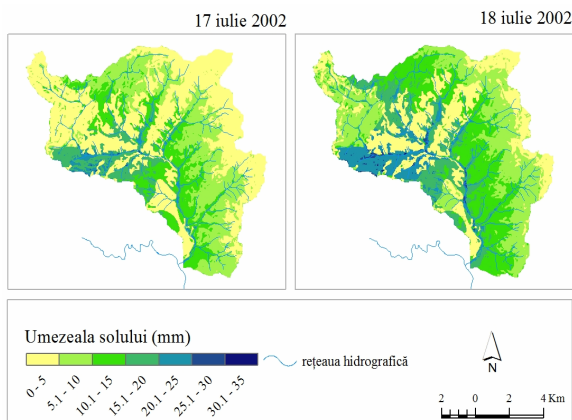


Fig. 6.3. Bazinul Albac. Distribuția spațială a umezelii solului estimată prin metoda bilanțului

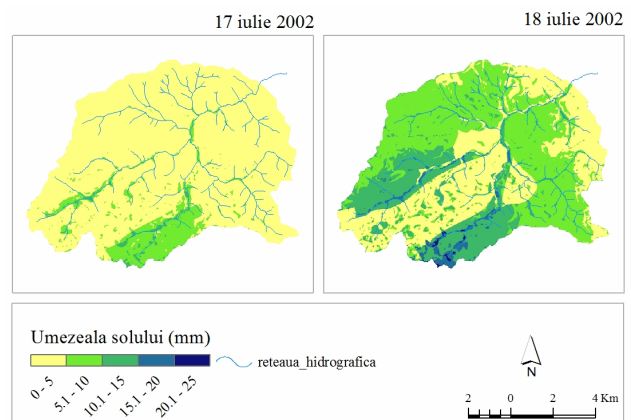


Fig. 6.4. Bazinul Beliș. Distribuția spațială a umezelii solului estimată prin metoda bilanțului

7. STUDIU HIDROPEDOLOGIC LA NIVELUL UNUI BAZIN EXPERIMENTAL

În afara aplicării unor modele de calcul numerice, determinarea condițiilor de umezeală a solului se poate realiza atât direct, prin prelevarea probelor de sol și studierea lor în laborator, cât și indirect prin utilizarea unei aparaturi specifice. La nivelul țării noastre, una dintre cele mai cunoscute și utilizate proceduri de caracterizare a solului din punct de vedere hidrologic se bazează pe prelevarea probelor de sol de pe profil și studierea lor în laborator. Această procedură are avantajul preciziei ridicate, însă și dezavantajul evidențierii doar a unei situații de moment în ceea ce privește condițiile de umezeală a solului, fiind practic imposibil de a determina umezeala înaintea fiecărui eveniment pluviometric prognozat.

A fost realizat, însă, un studiu aplicativ de teren împreună cu o echipă de cercetători de la OSPA Cluj în cadrul unei campanii de desfășurate în vara anului 2009 la contactul Masivului Gilău-Muntele Mare cu Depresiunea Transilvniei, fiind vizat în special versantul drept al Bazinului Hășdate. Studiul de teren a constat în realizarea de profile pedologice, încadrarea taxonomică a solurilor, prelevarea probelor de sol din profilele principale. Ulterior, analizele de laborator precum și delimitarea unităților de sol au fost efectuate de către personalul OSPA Cluj.

În cadrul zonei de studiu am selectat un bazin mic cu suprafața de aprox. 8 km² (Bazinul Hășmaș) la nivelul căruia, pe baza elementelor observate în teren și a analizelor de laborator, s-a procedat la:

- realizarea unei baze de date digitală primară referitoare la unitățile de sol delimitate și profilele pedologice realizate;
- calculul principalilor indicatori hidrofizici ai solului și reprezentarea spațială a acestora;

7.2 Colectarea datelor pedologice în teren

7.2.1 Realizarea profilelor de sol

Pe suprafața bazinului Hășmaș au fost realizate în vara anului 2009 un număr de peste 50 de profile de sol, iar pentru 10 dintre acestea au fost preluate probe în vederea efectuării analizelor de laborator. În **fig. 7.4** se poate observa distribuția spațială a profilelor principale și secundare efectuate în cadrul bazinului experimental și în zona limitrofă.

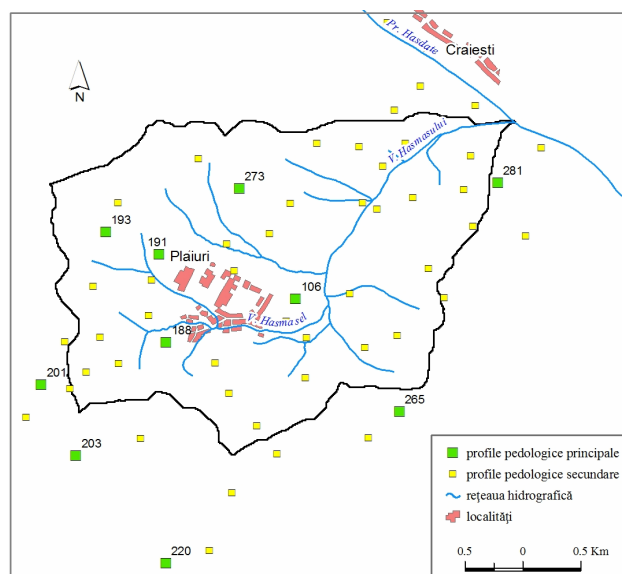


Fig. 7.4. Bazinul Hășmaș. Distribuția spațială a profilelor de sol

7.2.2 Descrierea profilului de sol și recoltarea probelor

În privința elementelor morfologice ale solului se studiază și se notează în fișa profilului de sol: *adâncimea orizonturilor sau suborizonturilor; denumirea orizontului; culoarea; frecvența și mărimea petelor; textura ș.a.* În **fig. 7.6** se prezintă caracteristicile câtorva profile pedologice realizate în cadrul bazinului.

7.3 Caracteristici pedogeografice cu rol în determinarea rezervei de apă din sol

Un sol se umectează mai ușor sau mai greu, cedează apa mai repede sau mai încet în funcție de câteva caracteristici care se intercondiționează reciproc: textură, structură, grosimea profilului de sol, porozitate, permeabilitate, viteza de infiltrare, ascensiune capilară ș.a. (**Fig. 7.7**).

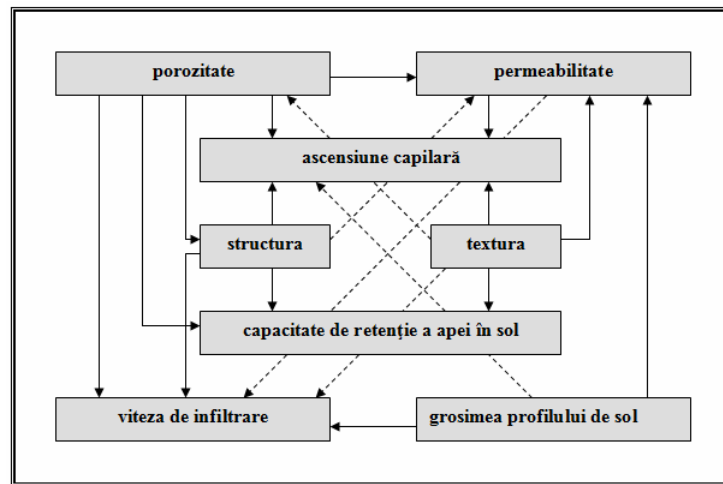


Fig. 7.7. Relații de intercondiționare a principalelor caracteristici pedogeografice cu rol în distribuția rezervei de apă din sol

7.4 Specificul bazei de date GIS pentru elementele pedologice colectate din teren

Datele pedologice colectate din teren și mai apoi cele rezultate în urma analizelor de laborator au fost utilizate pentru generarea unei baze de date GIS asupra elementelor cu importanță în studiul caracteristicilor hidrice ale solului. Este vorba așadar, de elaborarea hărților digitale, format vector tip poligon, reprezentând tipurile de sol, precum și de realizarea bazei de date digitale, format vector tip punct (**Fig. 7.15**), asupra profilelor de sol din care au fost colectate probe pentru analize de laborator. Baza de date asupra profilelor de sol are în componență următoarele attribute (**Fig. 7.15b**): denumirea tipului de sol, conținutul în argilă (mediu pe profil), indicele de higroscopicitate (mediu pe profil), densitatea aparentă (medie pe profil). Aceste elemente au constituit suportul pentru determinarea porozității totale a solului și mai apoi a indicilor hidrofizici ai solului (coeficientul de ofilire, capacitatea de câmp, capacitatea totală pentru apă, echivalentul umidității).

7.5 Determinarea indicilor hidrofizici ai solului

În această etapă au fost calculați indicii hidrofizici pentru fiecare dintre orizonturile solurilor corespunzătoare celor 10 profile principale. Ulterior, au fost interpolate spațial valorile medii ale acestor indici prin metoda Ordinary Kriging (**Fig. 7.18**). Dintre indicii hidrofizici cea mai mare însemnătate pentru studiul umezelii solului o are capacitatea totală pentru apă (CT) și echivalentul umidității (EU). Cunoscând capacitatea totală pentru apă se poate determina gradul de saturare în apă al solului, element care ar ajuta foarte mult în anticiparea unei viituri și punerea în evidență arealelor cu vulnerabilitate ridicată la viituri. Echivalentul umidității arată care este capacitatea unui sol de a reține un apa, prezentând importanță în evoluția stratului infiltrat de la un eveniment pluviometric la altul.

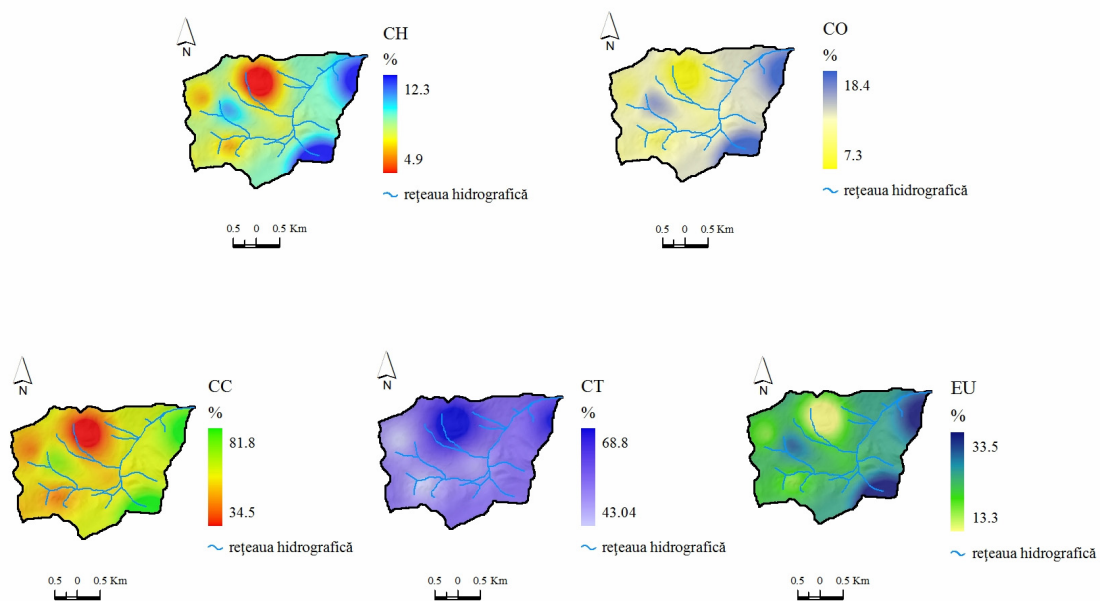


Fig. 7.1. Distribuția spațială a principalilor indici hidrofizici ai solului

8. MODELAREA VIITURILOR PLUVIALE ȚINÂND CONT DE CONDIȚIILE DE UMEZEALĂ A SOLULUI

În cazul unui eveniment pluviometric potențial declanșator al unei viituri, solul joacă un rol tampon între mărimea precipitației brute și cea a precipitației nete. Condițiile de umezeală anterioare a solului își vor pune amprenta atât asupra volumului de apă disponibil pentru scurgere cât și asupra vitezei de scurgere sau a timpului de concentrare al bazinelor versant. În **fig. 8.1** se prezintă schematic locul umezelii solului în cadrul suitei de procese ploaie-scurgere.

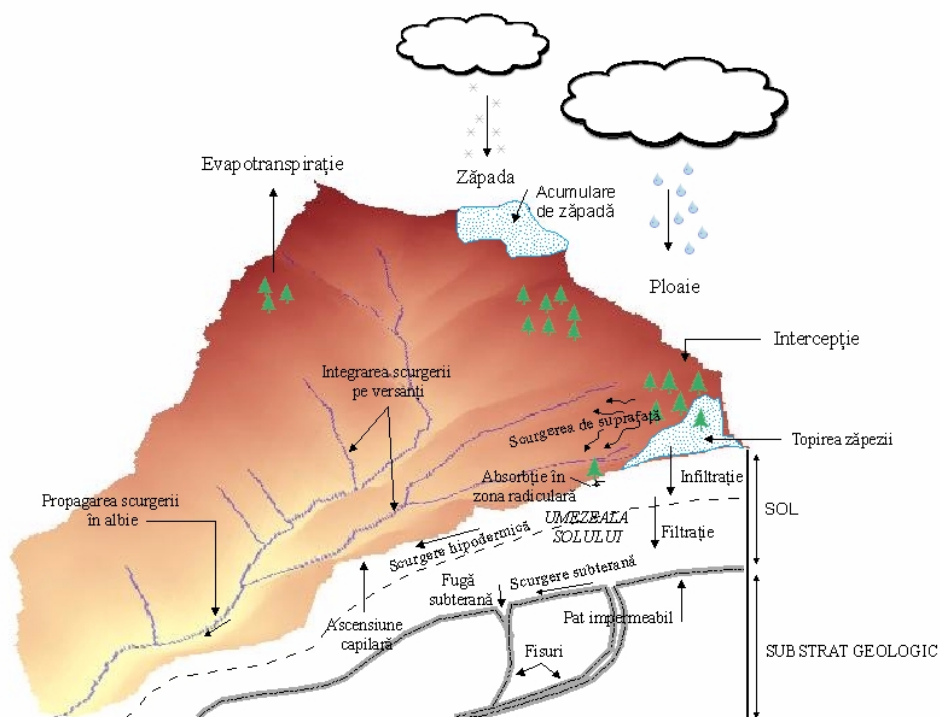


Fig. 8.1. Localizarea umezelii solului în cadrul procesului ploaie-scurgere

8.1 Context metodologic general privind modelarea viiturilor

În acest subcapitol s-a efectuat o sinteză asupra celor mai cunoscute modele de anticipare a viiturilor, realizându-se descriere atât a metodelor clasice privind modelarea viiturilor cât și modelelor ce funcționează prin intermediul tehnicilor GIS.

8.2 Algoritm GIS de modelare a viiturilor cunoscând conținutul de apă din sol

Acest capitol are drept obiectiv consolidarea unei metodologii, bazate pe utilizarea Sistemelor Informatice Geografice, privind modelarea viiturilor. Accentul se va pune pe următoarele aspecte:

- a). estimarea cantității de apă disponibilă pentru scurgere (precipitația netă) cunoscând condițiile anterioare de umezeală a solului și stratul de apă infiltrat;
- b). determinarea coeficienților de scurgere pentru diverse ploi;
- c). integrarea scurgerii pe versanți și determinarea hidrografului scurgerii în diferite secțiuni ale bazinului;

În **fig. 8.3** se prezintă succesiunea de etape ce compun algoritmul GIS de modelare a viiturilor pluviale când se cunoaște stratul de apă infiltrat..

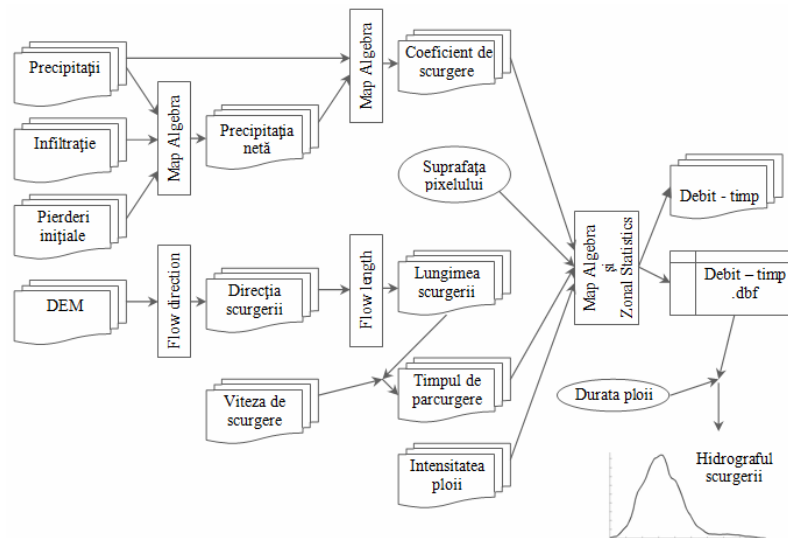


Fig. 8.2. Schematizarea algoritmului GIS de modelare a viiturilor ținând cont de infiltrația apei în sol

8.2.1 Estimarea precipitației nete și a coeficientului de scurgere

8.2.1.1 Ecuații de calcul

Una dintre cele mai cunoscute ecuații de calcul a stratului scurgerii pe care se bazează modelul SCS nu ține cont în mod direct de cantitatea de apă infiltrată. Această ecuație are următoarea formă: (USDA, 1997; Mishra, S. K., Singh, V. P., 2003; Mishra S. K. et al., 2006, Mihalik N. Elizabeth et al., 2008).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (8.3)$$

- unde:

- Q – stratul scurs (mm);
- P – cantitatea de precipitații (ploi și zăpezi) (mm);
- I_a – pierderile inițiale (evapotranspirație, rețineri la nivelul coronamentului, alte rețenții);
- S – potențialul maxim al rețențiilor;

Pentru studiul de față stratul de apă disponibil pentru scurgere ($Q_{(mm)}$) a fost estimat prin intermediul unei ecuații care ia în calcul în mod direct stratul de apă infiltrat (Musy A., Higy C., 1998):

$$Q = P - I_a - F \quad (8.5)$$

- unde:

- P – cantitatea de precipitații (mm);
- I_a – pierderile inițiale (mm);
- F – infiltrația cumulativă (mm);

8.2.1.2 Metodologie GIS

Această parte a studiului are rolul de a prezenta metodologia GIS care a stat la baza estimării precipitației nete și a coeficientului de scurgere. De menționat că au fost dezvoltate

algoritmi pentru determinarea precipitației nete pornind atât de la metoda SCS-CN cât și de la metoda bilanțului. În **fig. 8.4** se prezintă schematic procedura de obținere a hărții stratului disponibil pentru scurgere folosind metoda SCS-CN.

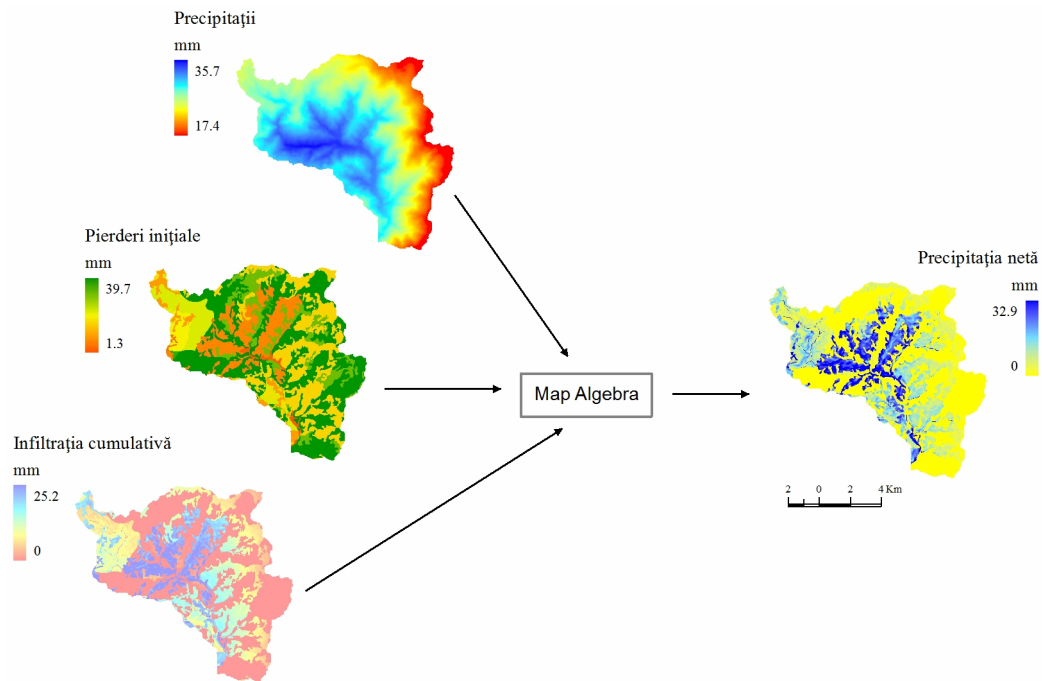


Fig. 8.3. Schematizarea algoritmului de spațializare a precipitației nete folosind metoda SCS-CN

8.2.1.3 Aplicații și rezultate

În **fig. 8.7** se prezintă rezultatele asupra stratului disponibil pentru scurgere (un exemplu pentru ziua 17 iulie 2002) obținute în urma aplicării algoritmului bazat pe metoda SCS-CN. În general se constată creșterea valorilor precipitației nete în raport cu nivelul de despădurire, precum și de la solurile nisipoase sau nisipo-lutoase (clasa hidrologică A), spre cele caracterizate prin conținut ridicat de argilă, încadrate clasei hidrologice C sau D.

O imagine mai concludentă a situației hidrologice din ziua de 17 iulie 2002 o oferă distribuția spațială a *coeficienților de scurgere*, obținuți în urma raportului din stratul disponibil pentru scurgere și cel precipitat (*ecuația 8. 8*). Rezultatele obținute se prezintă în **fig. 8.8**.

Suprafețele cu cele mai ridicate valori ale coeficientului scurgere se pun în evidență în cazul bazinelor Albac, respectiv Călata, situația fiind explicată, pe deoparte, de precipitațiile destul de însemnate cantitativ în această zi, iar pe de altă parte de un coeficient de împădurire mai mic pentru aceste două bazine. În cazul Bazinului Beliș, deși precipitațiile au fost destul de abundente, dominanța pădurilor de conifere, suprapuse în general unor soluri luto-nisipoase cu o bună capacitate de infiltrație a precipitației care reușește să depășească pragul interceptției, conduce spre valori extrem de scăzute ale coeficientului de scurgere.

O altă aplicație la nivelul aceluiași patru bazine a fost realizată pentru *intervalul 07-10 august 2006*. A mai fost, de asemenea, realizat un studiu asupra scurgerii din Bazinul Beliș amonte de stația hidrometrică Poiana Horea, în cazul unor evenimente pluviometrice din *cea de-a doua decadă a lunii octombrie 1992*.

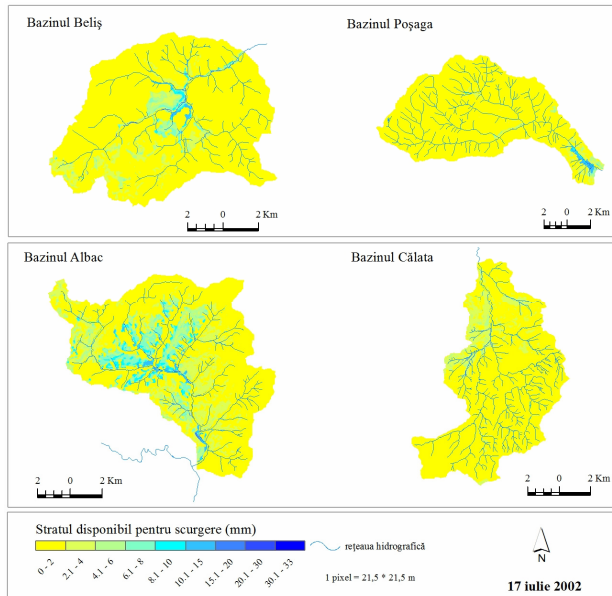


Fig. 8.7. Distribuția spațială a stratului disponibil pentru scurgere obținut pe baza metodei SCS-CN (exemplu: 17 iulie 2002)

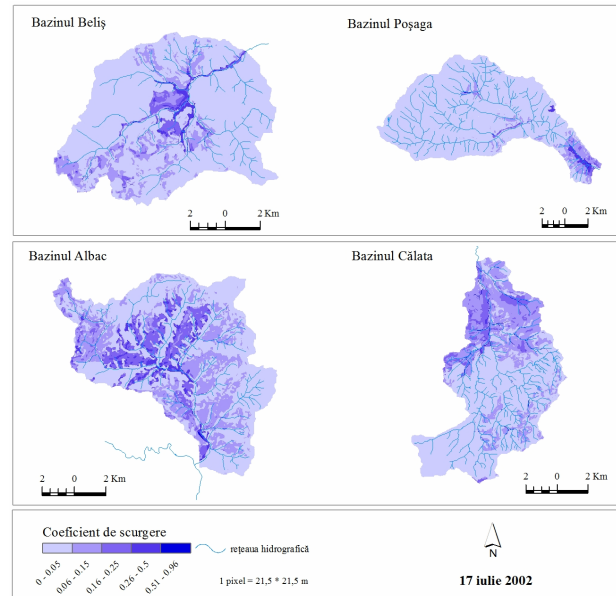


Fig. 8.8. Distribuția spațială a coeficienților de scurgere pornind de la parametrii determinați prin metoda SCS-CN (exemplu: 17 iulie 2002)

8.2.2 Integrarea scurgerii pe versanți prin metoda izocronelor digitale

Formarea scurgerii pe versanți și integrarea acesteia prin rețeaua hidrografică (funcția de transfer) se caracterizează printr-o mare complexitate ca urmare a variației temporo-spațiale a precipitațiilor, infiltrației și factorilor fizico-geografici bazinali.

În prezentul studiu, integrarea scurgerii pe versanți se va analiza prin intermediul unui **model de tip izocron**. Etapele de lucru se desfășoară în trei mari direcții:

- *determinarea izocronelor digitale;*
- *calculul debitelor* pentru fiecare suprafață parțială (F_i) dintre două izocrone;
- *generarea hidrografului scurgerii de suprafață;*

8.2.2.1. Metodologie GIS pentru estimarea timpilor de parcurgere/concentrare

Estimarea timpilor de parcurgere, respectiv a timpului de concentrare pentru bazinele hidrografice selectate pentru studiu a fost realizată prin intermediul GIS utilizând ca date de intrare: Model Digital de Elevație (DEM), panta terenului, suprafața de pe care se poate scurge apa în fiecare pixel (Catchment Area), indicele Curve Number, coeficientul de rugozitate Manning's N (*Al-Smadi M., 1998; Gebremeskel S. et colab., 2002*).

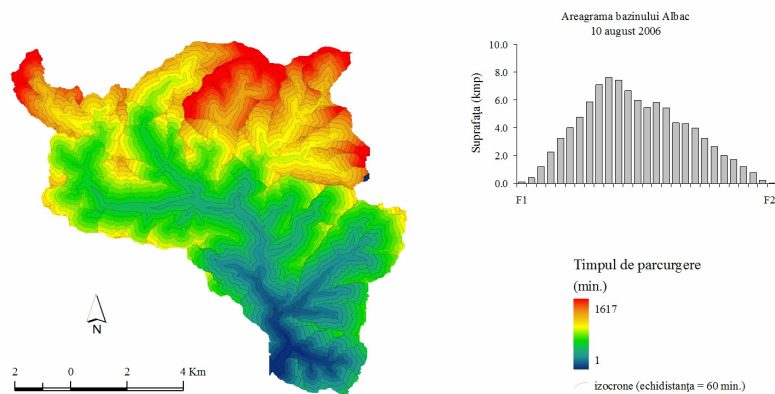


Fig. 8.4. Timpii de parcurgere și areagrama Bazinului Albac (exemplu: 10 august 2006)

Două elemente sunt importante pentru determinarea timpilor de parcurgere și a timpului de concentrare: viteza de scurgere pe versanți și în albie și lungimea scurgerii. Pentru analiza spațială a vitezei de scurgere există un algoritm dezvoltat de Olaya V. și Al Smadi M. (2004) în SAGA GIS, bazat metoda lui Manning și care permite obținerea unui raster asupra vitezei de scurgere în mod interactiv prin selectarea pixelului amonte de care să fie realizate calculele. Pentru generarea automată a raster-ului asupra timpilor de parcurgere a fost realizat, un submodul ArcGIS (Domnița M. et colab., 2010). În **fig. 8.16.** se prezintă spre exemplificare rezultatele obținute prin rularea submodulului la nivelul Bazinului Albac.

8.2.2.2 Calculul debitelor maxime în secțiuni fără măsuratori

Odată determinat stratul de apă disponibil pentru scurgere (prin depășirea capacității de interceptie-infiltrație), coeficienții de scurgere la nivel de pixel și areagrama bazinului pentru condițiile fizico-geografice existente la momentul manifestării evenimentului pluviometric, următoarea etapă a algoritmului a constat în calculul debitelor la nivelul fiecărei suprafețe F_i dintre două izocrone consecutive cu echidistanța de 1 minut și extragerea într-un tabel .dbf a șirului de date debit-timp prin intermediul unei funcții GIS de statistică zonală. Calcul debitelor s-a efectuat prin intermediul metodei raționale, frecvent utilizată la nivelul țării noastre pentru bazine mici (Șerban P., Diaconu, 1995; Păcurar V., 2006; Bilașco Șt., 2008; Magyari Saska Zs., 2008 ș.a.). În continuare, din cauza posibilităților limitate de reprezentare a graficelor în ArcGIS, generarea hidrografului scurgerii se poate realiza prin intermediul unui soft de analiză tabelară și grafică (Excel, SPSS, Matlab ș.a).

8.2.2.3. Aplicații și rezultate

În această parte a lucrării se prezintă rezultatele obținute prin aplicarea algoritmului la nivelul celor patru bazine de studiu pentru diferite evenimente pluviometrice. Pentru cele patru bazine au fost selectate câte trei secțiuni de calcul localizate în general în zonele cu așezări umane. Ne vom limita la a exemplifica în continuare, doar hidrografele scurgerii din ploi obținute prin modelare pentru ziua de 17 iulie 2002 pentru Bazinul Albac și Călata.

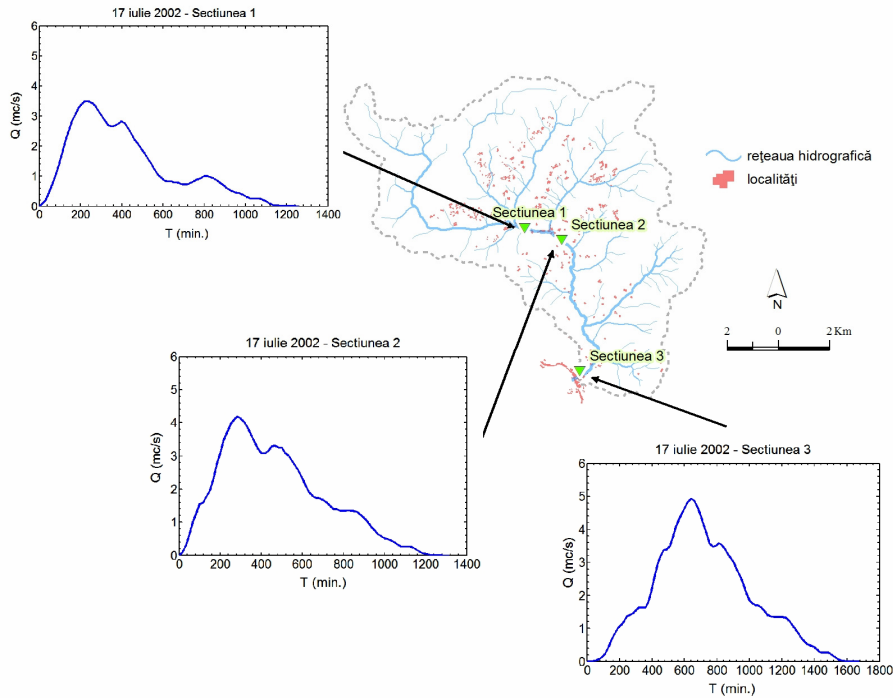


Fig. 8.5. Bazinul Albac. Hidrograful scurgerii generate de precipitațiile din ziua de 17 iulie 2002

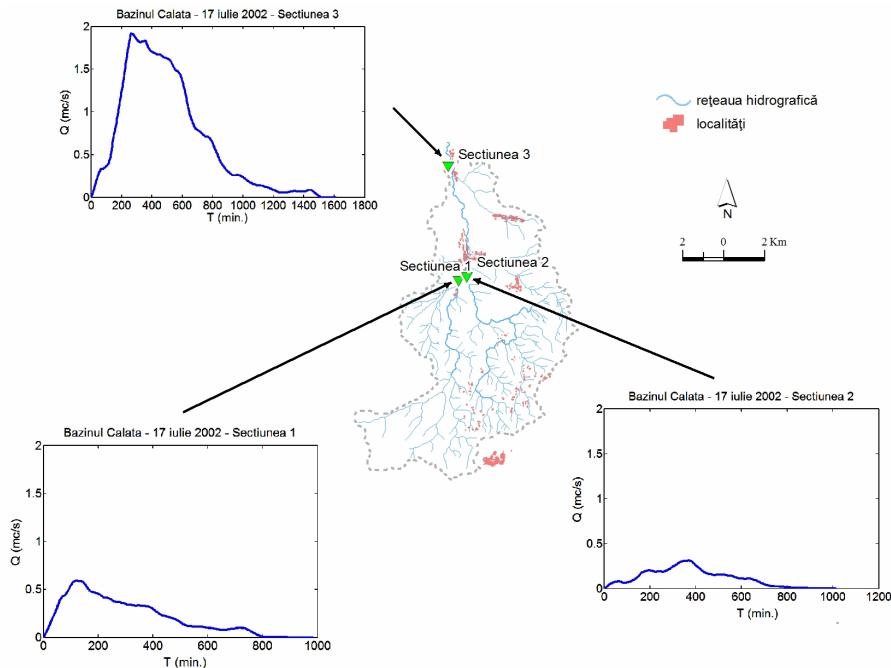


Fig. 8.6. Bazinul Călata. Hidrograful scurgerii generate de precipitațiile din ziua de 17 iulie 2002

9. VALIDAREA MODELULUI GIS DE ESTIMARE A VIITURILOR PLUVIALE BAZAT PE STUDIAREA CONDIȚIILOR DE UMEZEALĂ A SOLULUI

Obiectiv: eventuala corelare a hidrografului calculat cu cel obținut din măsurători reprezintă nu doar o validare în sine a întregului model ci și validarea modelului de reprezentare a variației spațiale a umezelii solului care co-participă la mecanismul scurgerii deținând un rol important în cadrul ecuației de bilanț.

În această lucrare încercăm să facem o distincție între umiditatea solului și umezeala solului. Umezeala solului nu poate fi confirmată prin măsurători de teren deoarece trebuie avute în vedere două lucruri distincte în ceea ce privește perceperea fenomenului de umezeală:

- umiditatea solului măsurată pe teren și evaluată în laborator, a cărei utilitate se întrevide în special în cercetările pedologice sau agropedologice;
- umezeala solului care intervine în mecanismul de scurgere real și care se calculează conform ecuațiilor;

9.1. Proceduri de validare. Aspecte generale

În prezentul studiu, pentru validarea modelului GIS de simulare a viiturilor pluviale, procedura a constat în compararea hidrografelor de viitura obținute prin modelare cu hidrografele obținute prin măsurători la stațiile hidrometrice Poiana Horea și Smida. De specificat că modelul GIS dezvoltat estimează doar scurgerea de suprafață generată de ploi, neluând în calcul și scurgerea de bază din râu, scurgerea hipodermică sau scurgerea subterană.

El se poate aplica, așadar, doar în cazul bazinelor foarte mici sau pe versanți și torenți unde, evident, scurgerea subterană este foarte mică în comparație cu ceea ce rezultă din ploi torențiale.

9.2 Studiu de caz: viitura din iulie 2005 de pe râurile Someșul Cald și Beliș

9.2.2. Analiza hidrografelor de viitură obținute din măsurători la stațiile hidrometrice

Pentru ambele bazine de studiu, debitele cele mai mari corespund zilei de 12 iulie când s-au înregistrat $30,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pe râul Someșul Cald la stația hidrometrică Smida, respectiv $16 \text{ m}^3/\text{s}$ pe râul Beliș la stația hidrometrică Poiana Horea.

În privința viiturii de pe râul Beliș (**Fig. 9.4**), se observă o creștere bruscă a debitelor în secțiunea corespunzătoare stației hidrometrice Poiana Horea în ziua de 12 iulie, în 8 ore debitele crescând cu peste $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (de la $4,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ora 06:00 la $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ora 14:00). Luând în calcul drept moment de început ziua de 11 iulie ora 06:00, timpul de creștere (T_{cr}) al viiturii până la atingerea debitului de vârf a fost 32 de ore, iar timpul de scădere (T_{sc}) a fost de 100 ore (12 iulie

ora 14:00 – 16 iulie ora 18:00). După ziua de 16 iulie se pune în evidență o tendință generală de scădere a debitelor.

În ceea ce privește viitura de pe râul Someșul Cald (**Fig. 9.5**), se pune în evidență o creștere oarecum bruscă a debitelor de la 4,12 m³/s (începutul zilei de 11 iulie) la peste 25 m³/s (în după amiaza zilei de 12 iulie). După atingerea vârfului viiturii în seara de 12 iulie debitele încep să scadă treptat ajungând la valori de aprox. 6 m³/s în ziua de 16 iulie, pe fondul reducerii cantităților de precipitații. Ca urmare, timpul de creștere (T_{cr}) al viiturii a fost de 36 ore, iar timpul de scădere (T_{sc}) de 96 ore.

9.2.3. Implementarea modelului GIS

Pentru modelarea celor două viituri, pe lângă layerele asupra sumelor zilnice de precipitații au fost pregătite și restul datelor spațiale de intrare: textura solului, modul de utilizare al terenului, condițiile anterioare de umezeală, Model Digital de Elevație, viteza de scurgere etc.

Pe baza layerelor raster referitoare la infiltrație, precipitație netă, coeficienți de scurgere, viteză de scurgere și luând în calcul durata, respectiv intensitatea ploilor de la Vlădeasa și Băișoara (stațiile meteorologice cele mai apropiate de bazinele de studiu) au fost obținut șirurile de debit-timp și mai apoi hidrografele scurgerii.

9.2.4. Hidrograf de viitură modelat vs. hidrograf de viitură măsurat

Readucem în discuție faptul că debitele obținute prin modelare nu includ și fracțiunea corespunzătoare scurgerii hipodermice, scurgerii subterane sau scurgerii anterioare din râu, așa cum este cazul debitelor obținute din măsurători. În aceste condiții, separarea scurgerii subterane de scurgerea de suprafață este o acțiune deloc facilă, fiind necesară găsirea unei funcții care să redea cea mai potrivită curbă de “tăiere a hidrografului”.

În cazul viiturii de pe râul Someșul Cald atenția s-a concentrat, de asemenea, asupra vârfului viiturii (intervalul 11 – 15 iulie 2005). Neavând informații legate de momentul de început al ploilor care au generat aceste creșteri de debit, a fost luată în calcul situația înregistrată la stația meteorologică Vlădeasa (stația aflată la cea mai mică distanță de acest bazin).

Din **fig. 9.11** se observă însă o neconcordanță sub aspect temporal între hidrograful măsurat și cel calculat, fapt ce ne trimite spre lansarea următoarei ipoteze: *dacă în bazinul Someșului Cald ploaia/ploile au început de fapt mai devreme cu câteva ore decât cele de la Stația Vlădeasa?!*

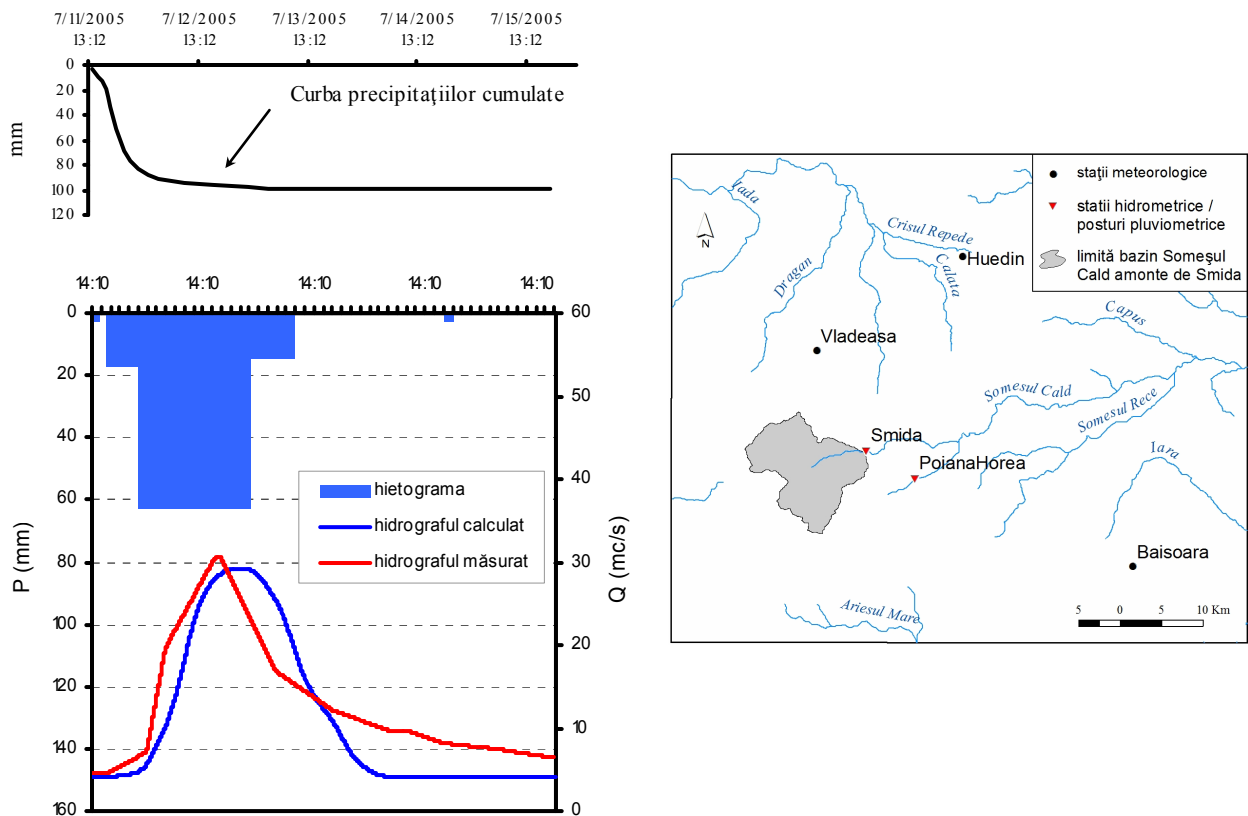


Fig. 9.1. Hidrograf modelat vs hidrograf măsurat în cazul vârfului viiturii din iulie 2005 la stația hidrometrică Smida (11 – 15 iulie 2005). Datele de debit măsurate au rezoluție temporală de min. 2 - max. 5 măsurători/zi, iar debitele modelate au rezoluție temporală de 1 calcul/min (1440 calcule/zi). În partea superioară a graficului sunt reprezentate ploile medii pe bazin (este vorba de cantitatea de precipitații corespunzătoare fiecărei ploi extrasă de pe hărțile de precipitații generate prin interpolarea datelor de la stațiile meteorologice: Vlădeasa, Băișoara, Huedin, Zalău, Dej, Cluj-Napoca, Turda și posturile pluviometrice: Smida și Poiana Horea).

Totodată, hidrograful măsurat indică o descreștere oarecum bruscă a debitelor după atingerea debitului de vârf ($30,5 \text{ m}^3/\text{s}$) în comparație cu hidrograful simulat, însă trebuie avut în vedere faptul că din 12 iulie ora 18:00 (când s-a înregistrat maximum) până în 13 iulie ora 06:00 nu mai există alte măsurători. În aceste condiții poate fi lansată următoarea ipoteză: *este posibil ca de fapt în acest interval de 12 ore debitele să se fi menținut ridicate un anumit timp după măsurarea debitului maxim iar scăderea acestora să nu fi fost atât de „abruptă” ?!*

În lipsa unor măsurători asupra scurgerii subterane, procedura de separare a scurgerii de suprafață de scurgerea subterană și de bază utilizată pe scară largă de către hidrologii din țara noastră constă în trasarea unei drepte între *prima valoare de debit a ramurii de creștere a hidrografului* și *ultima valoare de debit a ramurii de descreștere a hidrografului* (**Fig. 9.11**).

În urma separării scurgerii subterane conform acestei proceduri se constată o scădere a debitului maxim măsurat cu până la $5 \text{ m}^3/\text{s}$; în aceste condiții debitele modelate sunt mai mari decât cele măsurate în special pe ramura de descreștere a hidrografelor (**Fig. 9.13**).

Desigur, fiind incert momentul de început, durata, intensitatea precipitațiilor în cadrul bazinului, diferențele de formă și cele cantitative între cele două hidrografe se mențin. Aceste diferențe pot fi diminuate, așa cum am mai menționat, în primul rând prin mărirea rezoluției temporo-spațiale a bazei de date pluviometrice.

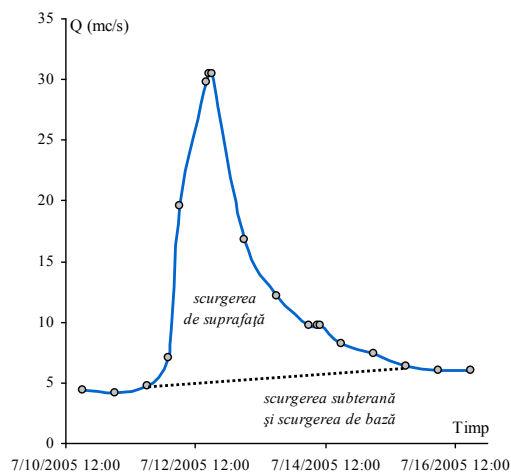


Fig. 9. 2. Procedură de separare a scurgerii de suprafață de scurgerea subterană utilizată în România

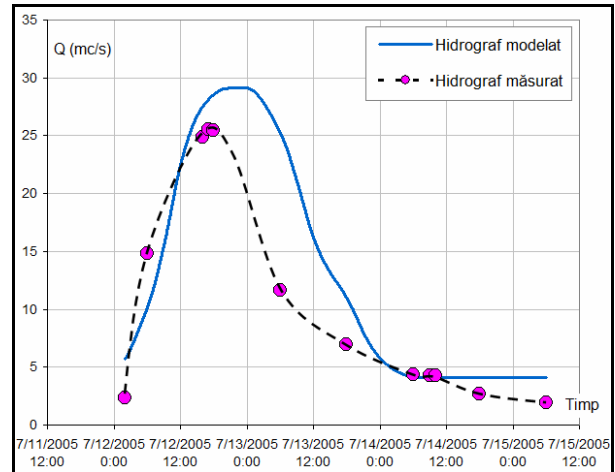


Fig. 9. 3. Hidrograf măsurat vs hidrograf modelat după separarea scurgerii de suprafață de scurgerea subterană și de bază. Studiu de caz: viitura din iulie 2005 (Bazinul Someșului Cald, stația hidrometrică Smida)

Bineînțeles, nu excludem și eventuale imperfecțiuni ale algoritmului de modelare, însă atâta vreme cât datele de intrare, respectiv datele de comparație ridică unele probleme, sunt dificil de cuantificat erorile modelului.

În ciuda rezoluției slabe a datelor sub aspect temporo-spațial, exemplele analizate confirmă faptul că modelul de estimare a scurgerii pe bazine mici este bun și oferă o alternativă în anticiparea viiturilor pluviale.

10. CONCLUZII

Pentru elaborarea temei de cercetare au fost avute în vedere două mari obiective: a). dezvoltarea unui algoritm GIS care să permită estimare indirectă a umezelii solului și a infiltrației din ploi la scară zilnică; b). dezvoltarea unui algoritm GIS de modelare a viiturilor pluviale ținând cont de condițiile hidrologice ale solului.

a). În ceea ce privește îndeplinirea primului obiectiv major, întreaga metodologie GIS a fost automatizată prin realizarea a două toolbox-uri sau module ArcGIS:

1. Modul ArcGIS pentru calculul infiltrației cumulative pe baza metodei SCS – *Cumulative Infiltration Tools*.

2. Modul ArcGIS pentru calculul umezelii solului pe baza metodei bilanțului – *Soil Moisture Tools*, cu trei submodule: 1. *Daily Evapotranspiration*, 2. *Frevert Runoff Coefficient*, 3. *Soil Moisture*

b). În ceea ce privește îndeplinirea celui de-al doilea obiectiv (dezvoltarea unui algoritm GIS de modelare a viiturilor pluviale ținând cont de condițiile hidrologice ale solului), metodologia GIS a fost de asemenea automatizată. Folosind drept date de intrare layere generate odată cu aplicarea primului algoritm a fost obținut automat următorul set de rezultate:

a) *hărți*: harta precipitației nete; harta coeficienților de scurgere; harta volumului de apă scurs de pe fiecare pixel; harta direcției de scurgere; harta lungimii de scurgere; harta timpului de parcurgere.

b). *rezultate tabelare*: tabel în care sunt stocate șirurile debit-timp.

c). *rezultate grafice*: hidrograful scurgerii din ploii;

În *etapa de validare* a modelului GIS de estimare a viiturilor pluviale bazat pe studiul condițiilor anterioare de umezeală, diferențele observate între hidrografele măsurate și cele calculate pot fi puse, în mare măsură, pe seama insuficienței consistenței a datelor de intrare (în special pluviometrice) dar și pe cea a neconcordanței în ceea ce privește densitatea în timp debite măsurate (max. 4-5 măsurători/zi) vs debite calculate (din minut în minut).

În ciuda rezoluției slabe a datelor sub aspect temporo-spațial, exemplele analizate confirmă faptul că modelul de estimare a scurgerii pe bazine mici este bun și oferă o alternativă în anticiparea viiturilor pluviale.

11. BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., (1998), *Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO, Roma. (<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>).
2. Al-Smadi M., (1998), *Incorporating spatial and temporal variation of watershed response in a gis-based hydrologic model*, Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
3. Apetroaei Șt., (1973), *Rezervele medii de umiditate a solului sub culturile de porumb*, Știința solului, vol. 11, nr. 2, pag. 32-43.
4. Apetroaei Șt., (1977), *Evaluarea și prognoza bilanțului apei din sol*, Editura Ceres, București.
5. Arora K. V., Boer J. G., (2006), *The Temporal Variability of Soil Moisture and Surface Hydrological Quantities in a Climate Model*, Journal of Climate, vol. 19, p. 5875-5888.
6. Baltas E. A., Dervos N. A., Mimikov M. A., (2007), *Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece*, Hydrology and Earth System Sciences, 11, pag. 1825–1829.
7. Belfort B., (2006), *Modelisation des ecoulements en milieux poreux non satures par la methode des elements finis mixtes hybrids*, Thèse présentée pour obtenir le titre de docteur, Université Luis Pasteur, Institut de Mécanique des Fluides et des Solides, UMR CNRS 7507.

8. Beven J. K., (2001), *Rainfall - Runoff Modelling*, The Primer, John Wiley & Sons Ltd, USA.
9. Böhner J., Köthe R., Conrad O., Gross J., Ringeler A. And Selige T., (2007), *Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterization*, European Soil Bureau Research Report no.7, pag. 212-222.
10. Boruvka L., Donátová H., Němeček K., (2002), *Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a case study*, Rostlinná Výroba, 48, pag. 425-432.
11. Blaga, Ghe., Filipov, F., Udrescu, S., Vasile, D., (2008), *Pedologie*, Editura AcademicPres, Cluj-Napoca.
12. Canarache, A., (1969) *Despre excesul de umiditate in sol si indicatorii lui*, Știința solului.
13. Chendeș V., (2007), *Scurgerea lichidă și solidă în Subcarpații de la curbură*, Teză de doctorat, Institutul de Geografie, Academia Română.
14. Chevallier Pierre, (1983), *L'indice des precipitations anterieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants representatifs*, Cah. ORSTOM, vol. XX.
15. Chiriță, C., (1962), *Indicii de umiditate ai solului*, Studii si cercetari de biologie, Seria Biologie Vegetala.
16. Corradini C., (1992), *Representation of infiltration in adaptive rainfall-runoff models*, Nordic Hydrology, 23, pag. 291-304.
17. Cosandey D. C., (1983), *Recherces sur les bilans de l'eau dans l'ouest du Massif Armoricaïn*, These pour obtenir le titre de docteur, Université Sorbonne, Paris.
18. Crăciun A. I., (2007), *Use G.I.S to establish some parameters useful to measure the time of concentration and runoff coefficient*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No.2, 2007, pag. 12-19.
19. Crăciun A. I., (2008), *Monitoring of soil moisture using the balance method and G.I.S*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No. 2, 2008, pag. 8-15.
20. Crăciun A. I., Haidu I., (2009), *Estimation of soil water infiltration using CN (Curve Number) index and G.I.S techniques*. Application: Săcuieu Hydrographic Basin, Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Geographia, no. 3, 2009, pag. 178-185.
21. Crăciun A. I., (2009), *G.I.S application in order to detect the small hydrographic basins menaced by high flood during torrential rain events. Case study: Hydrographic Basin of Sacuieu (Apuseni Mountains)*, Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", Iasi, Tomul LV (LIX), Fasc. 4, Sectia Hidrotehnică, ISSN: 1224-3892, pag. 27-35.
22. Crăciun A. I., Haidu I., Magyari-Sáska Zs., Imbroane Al., (2009), *Estimation of runoff coefficient according to soil moisture using GIS techniques*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No. 2, 2009, pag. 1-10.
23. Crăciun A. I., (2010), *G.I.S algorithm for spatial representation of areas vulnerable to high flood depending on soil water reserve. Application: Hydrographic Basin of Posaga*, Geografia în contextual dezvoltării contemporane. Strategii de dezvoltare teritorială, pag. 224-231, Editura Presa Universitară Clujeană, ISSN: 1843-2158.
24. Crăciun A. I., (2010), *Utilisation S.I.G pour la representation cartographique d'écoulement pluviale a l'échelle annuelle*, Riscuri și catastrofe.
25. Dassargues A., (1995), *Modèles mathématiques en hydrogéologie*, Edit. Didactică și pedagogică, București.
26. Davie T., (2008), *Fundamentals of hydrology*, Second edition, Taylor & Francis e-Library.
27. Diaconu, C., Șerban P., (1994), *Sinteze si regionalizari hidrologice*, Editura Tehnica, București.
28. Dooge J.C.I., (1957), *The rational method for estimating Hood peaks*. Engineering 184: 311-313, , pag. 374-377.
29. Domnița M., Crăciun A. I., Haidu I., (2009), *GIS in determination of the discharge hydrograph generated by surface runoff for small basins*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No. 2, 2009, pag. 11-22.
30. Domnița M., Crăciun A. I., Haidu I., Magyari-Saska Zs., (2010), *Geographical Information System module for deriving the flash flood hydrograph in mountainous areas*, Proceedings of the 4-th European Computing Conference, April 20-22, Bucharest, Romania, WSEAS Publication ISBN: 978-960-474-178-6, pag. 260-265.
31. Domnița M., Crăciun A. I., Haidu I., Magyari-Saska Zs., (2010), *GIS used for determination of the maximum discharge in very small basins (under 2 km²)*, WSEAS Transactions on Environment and Development, ISSN: 1790-5079, vol. 6, pag. 468-477.

32. Drobot, R., (2007), *Metodologia de determinare a bazinelor hidrografice torențiale în care se află așezări umane expuse pericolului viiturilor rapide*, UTCB, Departamentul de cercetare și proiectare în construcții, București.
33. Estupina Borrell Valerie, (2004), *Vers une modélisation hydrologique adaptée à la prévision opérationnelle des crues éclair. Application à de petits bassins versants du sud de la France*, These présentée pour obtenir le titre de docteur, L'Institute National Polytechnique, Toulouse.
34. Feifei Pan, (2003), *An analytical method for predicting surface soil moisture from rainfall observations*, Water Resources Research, vol. 39, no. 11, 1314, doi:10.1029/2003WR002142.
35. Florea N., Munteanu I., (2003), *Sistemul român de taxonomie al solurilor (SRTS)*, Editura Estfalia, București.
36. Gebremeskel S., Yong Bo Liu, De Smedt F., Pfister L., (2002), *GIS based distributed modeling for flood estimation*, Proceedings of the Twenty-Second Annual American Geophysical Union Hydrology.
37. Green J. I., Nelson E. J., 2002, *Calculation of time of concentration for hydrologic design and analysis using geographic information system vector objects*, Journal of Hydroinformatics 04.2, pag. 75-81.
38. Haidu, I., Imbroane, A., M., (1994), *The indirect computing of maximum runoff of small rivers*, Studia Universității „Babeș-Bolyai”, Seria Geographia, Cluj-Napoca.
39. Haidu I, Haidu C., (1998), *S.I.G. Analiza spațială*, Editura HGA, Bucuresti.
40. Haidu, I., Sorocovschi, V., Imecs Z., (2003), *Utilizarea SIG pentru estimarea riscului de producere a evenimentelor extreme: excesul de umiditate si seceta din Campia Transilvaniei*, vol. „Riscuri si catastrofe” (pag. 287-303), Edit. „Casa Cartii de Stiinta”, Cluj-Napoca.
41. Haidu, I., (2006), *Elemente de hidrologie*, Edit. Academicpres, Cluj-Napoca.
42. Haidu I., Crăciun A. I., Bilașco Șt., (2007), *The indirect evaluation of the soil water reserves with the aid of ArcGIS*, Analele Stiintifice ale Univ. “Al. I. Cuza” Iasi, 2007, pag. 101-113.
43. Haidu I., Crăciun A. I., Bilașco Șt., (2007), *The SCS-CN model assisted by G.I.S – alternative estimation of the hydric runoff in real time*, Geographia Technica, ISSN 1842-5135, No.1, 2007, pag. 1-7.
44. Haidu I., Crăciun A. I., Domnița M., (2010), *Geographical Information System Model for the Evaluation of Snowmelt Effect on Soil Moisture*, ITI, Proceedings of 32nd International Conference on Information Technology Interfaces, pag. 623-628, Cavtat, Croația.
45. Hillel, D., (1988), *L'eau et le sol: principes et processus physiques*, traduit de l'anglais Louis M. De Backer, -2 e edition revue – Louvain-la-Neuve: Academia.
46. Klemeš V., (1975), *Applications de l'hydrologie à la gestion des ressources en eau*, OMM (Organisation météorologique mondiale), nr. 356, ISBN 92 - 63 - 20356 • 3, Genève, Suisse.
47. Linsley R. K., Kohler M. H., Paulhus J. L. H., (1949), *Applied hydrology*, McGraw-Hill, New-York, 689 pag.
48. Luca Al., (1973), *Unele aspecte ale umezirii solurilor erodate la ploile cu intensitate mică*, Știința solului, vol. 11, nr. 3.
49. Luijten J. C., Jones J. W., Knapp E. B., (2002), *Spatial Water Budget Model and GIS Hydrological Tools*, ICASA (International Consortium For Agricultural Systems Applications).
50. Magyari-Saska Zs., (2008), *Dezvoltarea algoritmilor S.I.G pentru calculul riscurilor geografice naturale: aplicație la Bazinul Superior al Mureșului*, Teză de doctorat, UBB, Cluj-Napoca.
51. Man T., Alexe M., (2006), *Modelare hidrologica in GIS. Implementarea modelului SCS-CN pentru evaluarea scourgerii*, Geographia Technica Nr.1/2006, pag. 121-126, ISSN 1842-5135.
52. Mermoud, A., (1998), *Elements de physique du sol*, Editura H*G*A, București.
53. Mic Rodica, Corbuș C., (1999), *Estimarea debitelor maxime în cazul viiturilor rapide în Bazinul Hidrografic Crișuri pe baza precipitațiilor și a stării de umiditate a solului*, Institutul National de Hidrologie și Gospodărire a apelor, București;
54. Mishra, S. K., Singh, V. P., (2003), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Edit. Springer, ISBN 1402011326, 536 pag., <http://books.google.fr/books?hl=ro&lr=&id=tRUv6hQUJXEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Mishra.+S.+K.+and+Singh,+V.+P.:+Soil+Conservation+Service+Curve&ots=hdKZs-FDjo&sig=qKUzKqzQd-ebmnlvgvc3lvjN-Fw#PPP1,M1>

55. Mustăţea A., (1996), *Viituri excepţionale pe teritoriul României. Geneză şi efecte*, ISSN 973-0-03611-x, Bucureşti.
56. Musy, A., Higy C., (1998), *Hydrologie appliquée*, Editions H*G*A, ISBN: 973-98530-8-0, Bucureşti.
57. Ogden L. F., Garbrecht J., (2001), *GIS and distributed watershed models: modules, interfaces and models*, Journal of hydrologic engineering, pag. 515-523.
58. Pachepsky Y.A., Rawls W.J., Lin H.S., (2006), *Hydropedology and pedotransfer functions*, Geoderma, 131, pag. 308-316.
59. Patriche C. V., (2009), *Metode statistice aplicate în climatologie*, Edit. Terra Nostra, Iaşi.
60. Păcurar, V. D., (2005), *Utilizarea Sistemelor de Informaţii Geografice în modelarea şi simularea proceselor hidrologice*, Editura Lux Libris, Braşov.
61. Pişota I., Zaharia Liliana, Diaconu D., (2005), *Hidrologie*, Editura Universitară Bucureşti.
62. Rochefort M. M., Jean Tricart, (1959), *Role de l'écoulement subsuperficiel dans l'alimentation de certains cours d'eau*, L'academie des sciences, Paris.
63. Rodier J., Roche M., (1968), *Contribution à la methodologie de predetermination des crues de fréquences rares sur des petits bassins*, Societe hydrotechnique de France Journées de l'hydraulique, vol. X, Paris.
64. Samani Z. (2000), *Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 126, No. 4, pag. 265-267.
65. Shari M. Carlaw, (2000), *Soil Moisture Accounting in Distributed Hydrologic Modelling*, a thesis presented to the University of Waterloo, Canada.
66. Shaw M. Elizabeth, (1994), *Practice in hydrology*, Taylor & Francis e-Library, Londra.
67. Silveira, I., Charbonnier, F., Genta, J. L., (2000), *The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure*, Hydrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologique, 45.
68. Şerban P., Stănescu V., Roman P., (1989), *Hidrologie dinamică*, Editura Tehnică, Bucureşti.
69. Thompson S. A., (1999), *Hydrology for water management*, Edit. A.A. Balkema, Rotterdam, Olanda.
70. Trouche, G., Morlon P., (1999), *Comparaison de différents méthodes d'estimation de la réserve d'eau utile des sols (R.U.) dans le périmètre de l'O.G.A.F – Environnement de la zone de Migennes (Yonne)*, Étude et gestion des sols, 6, 1, pag. 41-54.
71. Ujvari I., Buz V., Şigalan P., (1967), *Indicele de umiditate de tip Sebanikov-Budâco pe teritoriul R. S. România*, Studia UBB, nr.1, pag. 85-110.
72. Ujvari I., (1972), *Geografia apelor României*, Editura Ştiinţifică, Bucureşti.
73. Ven te Chow, (1964), *Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology*, ISBN 07-010774-2, McGRAW-HILL Book Company (New York, St. Louis, San Francisco, Dusseldorf, Johannesburg, Kuala Lumpur, London, Mexico, Montreal, New Delhi, Panama, Rio de Janeiro, Singapore, Sydney, Toronto).
74. Ward R. C., Robinson M., (1990), *Principles of hydrology*, McGraw-Hill Companies, Londra.
75. Weisse A., Oudin L., Loumagne C., (2003), *Assimilation de donnees d humidite des sols pour prevision de crues: comparaison d un modele pluie-debit conceptuel et d un modele integrant avec une interface sol-vegetation-atmosphere*, Revue des sciences de l'eau, 16/2, pag. 173-197.
76. Wilson J.P., Gallant J.C., (2000), *Terrain Analysis. Principiaes and applications*, John Wiley and Sons, INC.
77. Xiaoyong Zhan, Min-Lang Huang, (2004), *ArcCN-Runoff: an ArcGIS. tool for generating curve number and runoff maps*, Environmental Modelling & Software XX.
78. Xu Y. C., Singh V. P., (2002), *Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland*, Water Resources Management, 16, pag. 197-219, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
79. *** (1987), *Metodologia elaborării studiilor pedologice*, vol. I – III, ICPA, Bucureşti;
80. *** (1997), *National Engineering Handbook, Part 630*, USDA National Resources Conservation Service, Washington DC 20250;