

5. Evaluarea eroziunii solului în bazinul montan al Teleajenului

Eroziunea solului este o formă de degradare a solului, alături de salizare, compactare, pierderea nutrienților, care presupune îndepărtarea mecanică a solului în urma acțiunii apei și a vântului. Factorii ce condiționează aceasta sunt de natură dinamică, energia cinetică a apei, ce se manifestă în câmpul gravitațional prin intermediul pantei, și a vântului, și de natură statică, proprietățile intrinseci ale solului, precum textura, acoperirea cu vegetație sau utilizarea agricolă a terenurilor.

Abordarea științifică a acestei probleme, adică determinarea metodelor de estimare cantitativă a eroziunii solului, se lansează în SUA, în anii '30 și culminează în anii '70 cu elaborarea unui model pe baza unei ecuații empirice, denumită ecuația universală de eroziune a solului (*Universal Soil Loss Equation, USLE*) [Patriche et al., 2006], [Wischmeier, Smith, 1978]. Aceasta estimează cantitatea de sol erodat pe baza a 6 factori, conform formulei:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (5.1)$$

unde

A := cantitatea anuală de sol erodat ($\text{t ha}^{-1} \text{an}^{-1}$)

R := factorul de erozivitate pluvială

K := coeficientul de erodabilitate a solului

L := factorul de lungime a versantului

S := factorul de pantă

C := acoperirea cu vegetație

P := impactul practicilor agricole de combatere a eroziunii

Problema constă în determinarea valorilor acestor parametri, iar aceasta a dus la modificarea și revizuirea ecuației inițiale, mai întâi prin ecuația modificată a eroziunii solului (*Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE*), în care factorul de erozivitate pluvială a fost înlocuit cu un factor ce ținea cont de debitul râului la ieșirea din bazin [Blażczynski, 2003], iar apoi prin ecuația revizuită a eroziunii solului (*Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE*), ale cărei revizuiți vizează factorul de erozivitate pluvială, factorul LS, includerea timpului în estimarea erodabilității solului, etc. [Patriche et al., 2006].

De asemenea s-au realizat studii pentru calibrarea acestor coeficienți și adaptarea acestora la condițiile locale și regionale de mediu pentru diferite zone ale lumii. În România, acest demers a fost realizat de Institutul de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie [Moțoc et al., 1975], [ICPA, 1986].

Pentru zona de studiu s-au calculat acești coeficienți la nivel de pixel, pentru modelul cu rezoluție de 15 m. Schema de implementare a ecuației este redată în Fig.5. 1 și presupune:

- factorul R: valoarea sa a fost preluată din harta zonării erozivității pluviale pentru România [Moțoc et al., 1975];
- factorul K: s-a obținut pornind de la harta solurilor la nivel de tip și de la textura fiecărui tip, printr-o reclasificare propusă de ICPA [ICPA, 1975];
- factorii LS: s-au determinat ca un factor unitar, pe baza modelului numeric altitudinal descris în cap. 4, prin intermediul modului *Topographic Indices* al aplicației SAGA GIS, care implementează un algoritm propus de [Moore et al., 2003];
- factorul C: s-a determinat pe baza hărții vegetației, elaborată prin clasificare supervizată a pixelilor din combinația de benzi 5-4-3 a unui set de imagini satelitare Landsat, din 2003, prin reclasificarea tipurilor de vegetație, folosind valorile din [Lee, Lee, 2006];
- factorul P: acesta măsoară efectul lucrărilor antropice de combatere a eroziunii în cazul parcelelor arabile și întrucât în zona studiată nu există asemenea parcele, nu s-a luat în considerare pentru studiul de față.

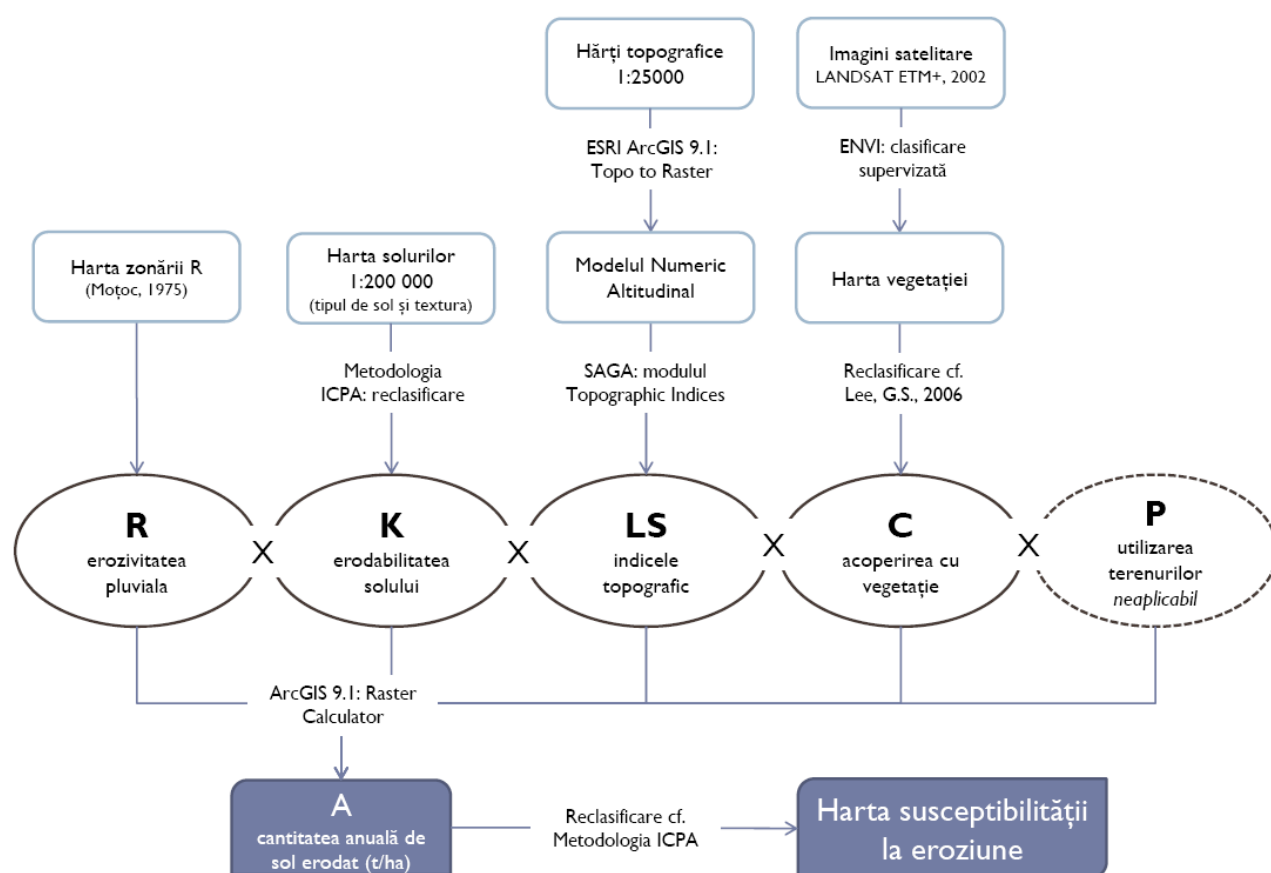


Fig.5. 1: Schema aplicării ecuației universale a eroziunii solului în evaluarea susceptibilității la eroziune

5.1. Factorul de erozivitate pluvială R

Măsoară energia cinetică însumată a ploilor cu nucleu torențial de 30 minunte, în decursul unui an:

$$R = \sum_{i=1}^n E_i \cdot I30_i \quad (5.2)$$

unde

E_i := energia cinetică a fiecărei ploi cu durată mai mare de 30 de minunte din timpul anului (MJ/ha)

$I30_i$:= intensitatea maximă a nucleului torențial de 30 de minute (mm/h)

Deși există studii care vizează determinarea acestui factor pornind de la valorile de precipitații, fie medii anuale, fie maxime lunare, valoarea acestui factor se poate calcula cu precizie maximă doar experimental, pe parcele amenajate și se aplică la regiuni mai extinse, omogene din punct de vedere climatic. Pentru țara noastră, valorile determinate de [Moțoc et al., 1975] variază de la 33 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ an⁻¹ în Câmpia de Vest la 102 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ an⁻¹ pentru Carpații Meridionali și de Curbură. S-a folosit așadar valoarea de 102 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ an⁻¹ pentru toată zona de studiu.

5.2. Coeficientul de erodabilitate a solurilor K

Se obține pe baza proprietăților intrinseci ale solurilor, precum textura, structura, conținutul de materie organică și măsoară rezistența solului la eroziune. Pentru România valorile acestui indicator au fost determinate de ICPA și prezentate în funcție de structura și tipul de sol. Așadar determinarea acestui parametru presupune evaluarea texturii fiecărui tip de sol și atribuirea valorii conform metodologiei ICPA [ICPA, 1975].

În bazinul montan al Teleajenului, solurile aparțin la 4 clase de erodabilitate Fig.5. 2:

- $K = 0.1$: este clasa cu cea mai mare rezistență la eroziune; în fapt, caracterizează aluvio-solurile care se dezvoltă în albia majoră a Teleajenului, în care acumularea materialului este foarte accentuată;
- $K = 0.8$: caracterizează solurile cu textură lutonisipoasă la lutoargiloasă din clasele cambisoluri și argiluvisoluri, tipurile soluri brune acide și brune luvice pseudogleizate; acestea au cea mai mare extindere areală în bazin, fiind caracteristice pădurilor de fag și amestec;
- $K = 0.9$: caracterizează solurile cu textură lutonisipoasă la lutoasă, din clasele spodosoluri și argiluvisoluri, tipurile soluri brune-acide, brune feriiluviale și brune-luvice, de sub pădurile de conifere;
- $K = 1$: reprezintă clasa de sol cu cea mai mare predispoziție la eroziune, solurile neevolute, trunchiate sau desfundate sau podzoluri, de la peste 1600 m altitudine, sub pajiști alpine secundare, cu textură lutonisipoasă.

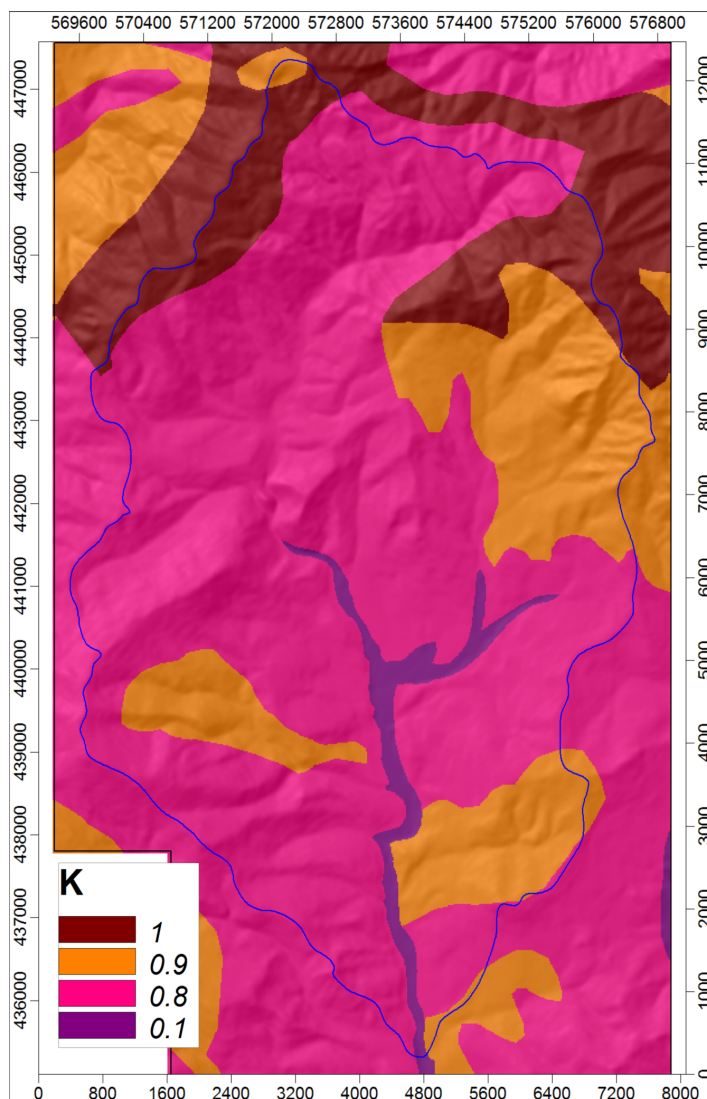


Fig.5. 2: Distribuția factorului K

5.3. Factorul topografic LS

Este un factor ce măsoară influența reliefului în eroziunea solului și presupune determinarea lungimii (*length*, L) și pantei segmentelor (*slope*, S) de râu dintre punctul în care scurgerea devine concentrată și punctul în care fie se formează canale mai mare decât rigolele, fie apar procese de depunere. În practică, valoarea lungimii versantului poate fi substituită cu valoarea suprafeței bazinului în amonte (sau acumularea scurgerii, cap. 4.2), în care fiecare pixel ia valoarea numărului pixelilor care „se scurg” în el, multiplicată cu rezoluția modelului:

$$L = FA^m \quad (5.3)$$

unde

FA := acumularea scurgerii, (mp)

m := un coeficient ce ia valori între 0.4 și 1.4

Panta segmentelor se calculează după formulele [Patriche et al., 2006]:

$$S = 10.8 \cdot \sin\theta + 0.03 \quad (5.4) \text{ pentru } \theta < 9\%$$

$$S = 16.8 \cdot \sin\theta - 0.5 \quad (5.5) \text{ pentru } \theta \geq 9\%$$

unde

θ := panta bazinului în amonte (cap. 4.2)

Pentru zona de studiu s-a determinat distribuția acestui factor pe baza modelului numeric altitudinal la rezoluția de 15 m., prin aplicarea modului *Topographic Indices*, în aplicația SAGA GIS Fig.5. 3. Acesta algoritm estimează cele mai ridicate valori, care pot ajunge și la 1000, și deci, cea mai mare predispoziție la eroziune, în talvegurile râurilor, direct proporțional cu ordinul segmentului respectiv, iar pentru versanți, valorile estimate sunt între 30 și 50. Valorile mari ale acestui indice în albiile minore ale rețelei hidrografice modelează bine caracterul concentrat al scurgerii și eroziunea liniară, însă sunt compensate de valorile mici ale coeficientului de erodabilitate K (0.1 pentru aluviosoluri), care în aceste zone prevăd mai degrabă procese de acumulare decât de eroziune. Însă pentru versanți, distribuția uniformă a valorilor din intervalul menționat modelează bine spălarea în suprafață, mai importantă și mai accentuată în aceste areale.

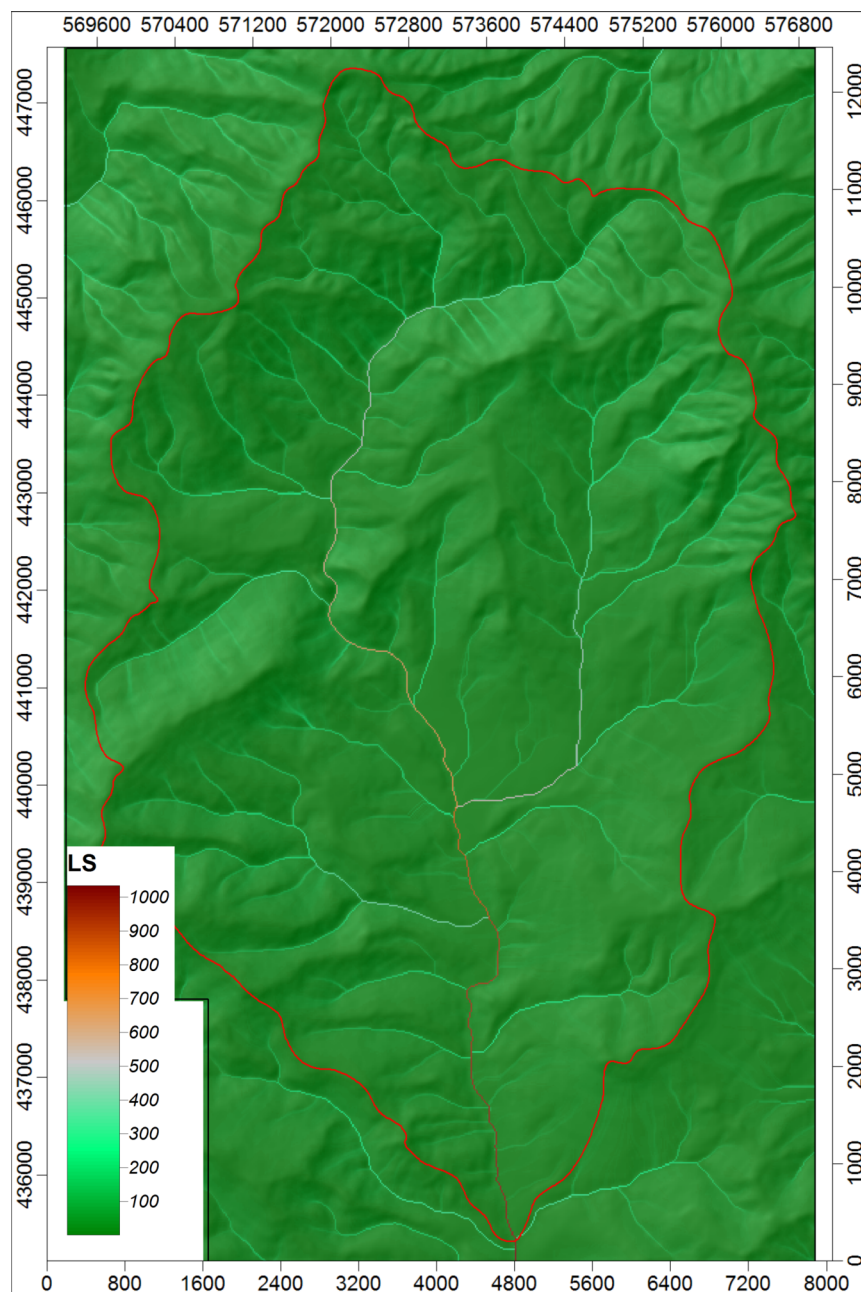


Fig.5. 3: Harta distribuției factorului topografic LS

5.4. Factorul C, acoperirea cu vegetație

Vegetația asigură, de regulă, un rol protector și există mai multe metode de a măsura acest efect, pornind de la o hartă a distribuției arealelor cu diferite tipuri de vegetație. O metodă de a identifica aceste areale este prelucrarea imaginilor satelitare, iar cele mai folosite sunt imaginile Landsat preluate cu senzorii TM și ETM+, în special cele obținute în benzile infraroșu apropiat. Pentru zona de studiu s-a realizat aceasta pe un set de imagini Landsat ETM+ din 2003, prin combinarea benzilor 5-4-3 (infraroșu mediu - infraroșu apropiat - vizibil roșu). Această combinație de benzi a permis identificarea arealelor cu diferite tipuri de vegetație datorită răspunsului spectral foarte diferit fiecărui tip în parte. S-au identificat 7 clase de vegetație: 1) pădure de fag, 2) pădure de amestec, 3) pădure de molid, 4) pășuni, fânețe, 5) pajiști subalpine, 6) tufărișuri subalpine, 7) suprafețe construite sau stâncării Fig.5. 4.

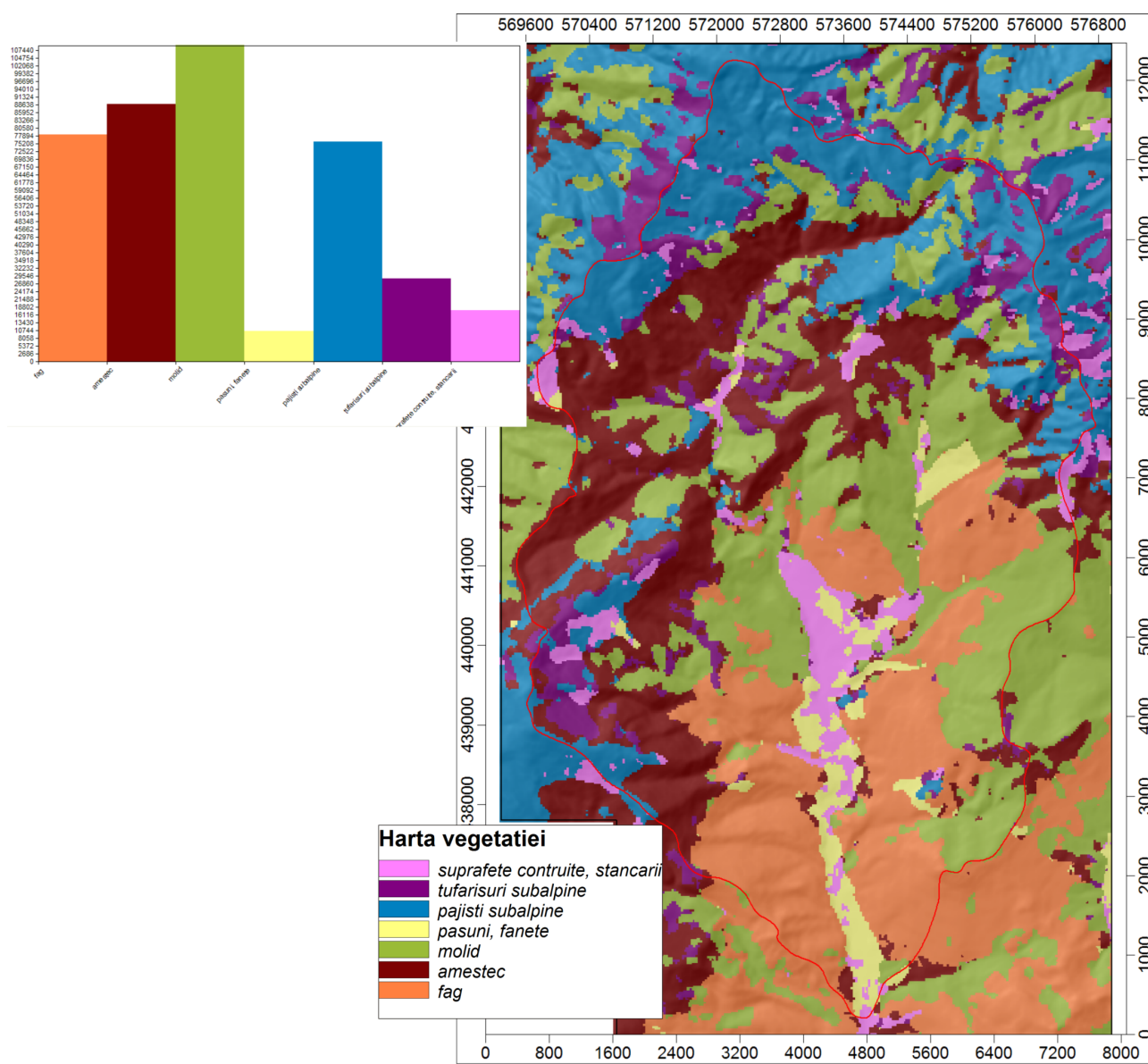


Fig.5. 4: Harta vegetatiei

Pentru determinarea valorii factorului C s-a considerat corespondența [Lee, Lee, 2006]:

- pădure = 0.004
- vegetație ierboasă = 0.05
- suprafețe construite = 0.002

A rezultat astfel distribuția din Fig.5. 5. Este de remarcat faptul că diferența dintre valorile C pentru zonele cu suprafețe construite și pădure și zonele cu vegetație ierboasă este de aproximativ un ordin de mărime. Cu alte cuvinte, pădurile protejează solul de 10 ori mai eficient decât vegetația ierboasă.

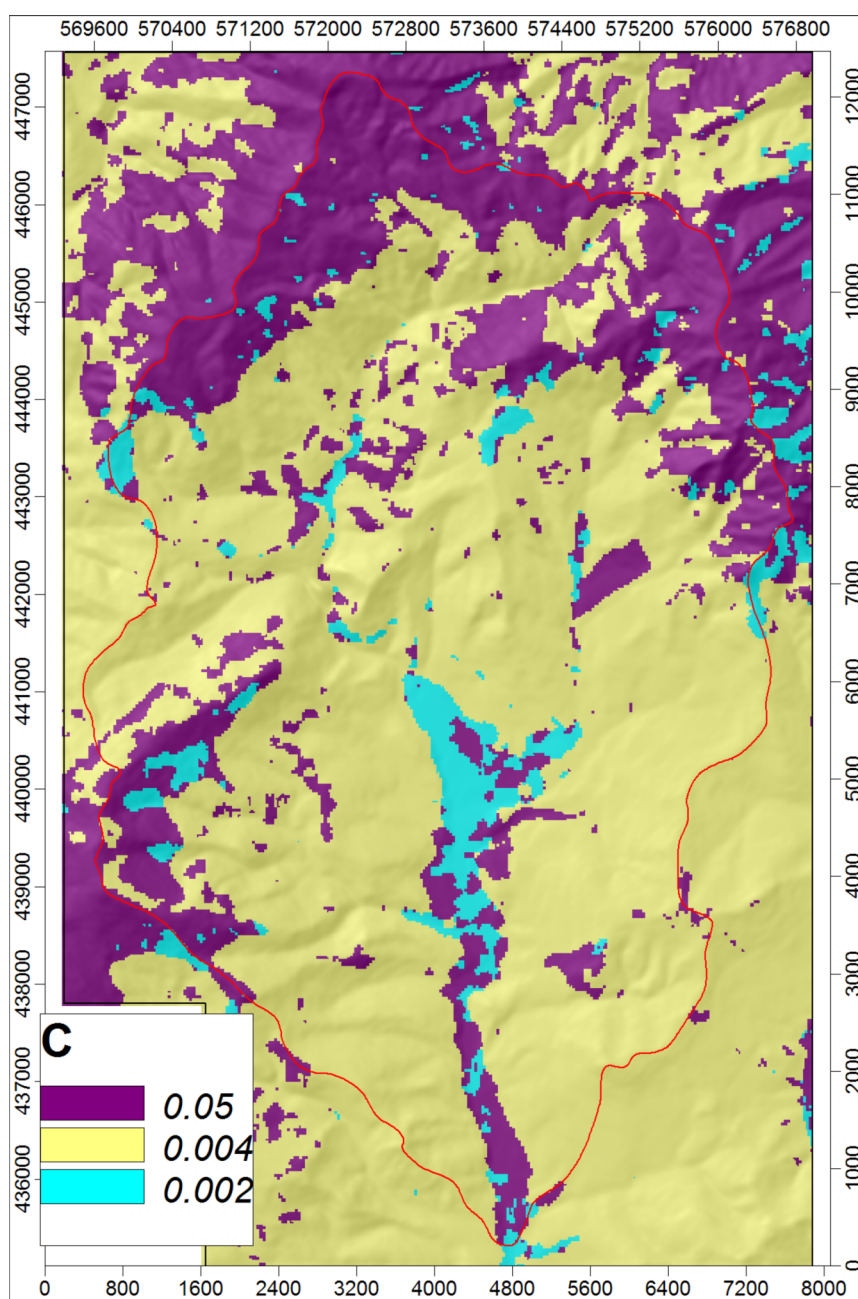


Fig.5. 5: Harta distribuției factorului C: acoperirea cu vegetație

5.5. Cantitatea anuală de sol erodat

Multiplicând așadar cele 3 griduri corespunzătoare factorilor K, LS, C și valoarea corespunzătoare factorului R, se obține estimarea cantității anuale de sol erodat, la nivel de pixel, în cazul nostru cu dimensiunea de 15x15 m², din Fig.5. 6.

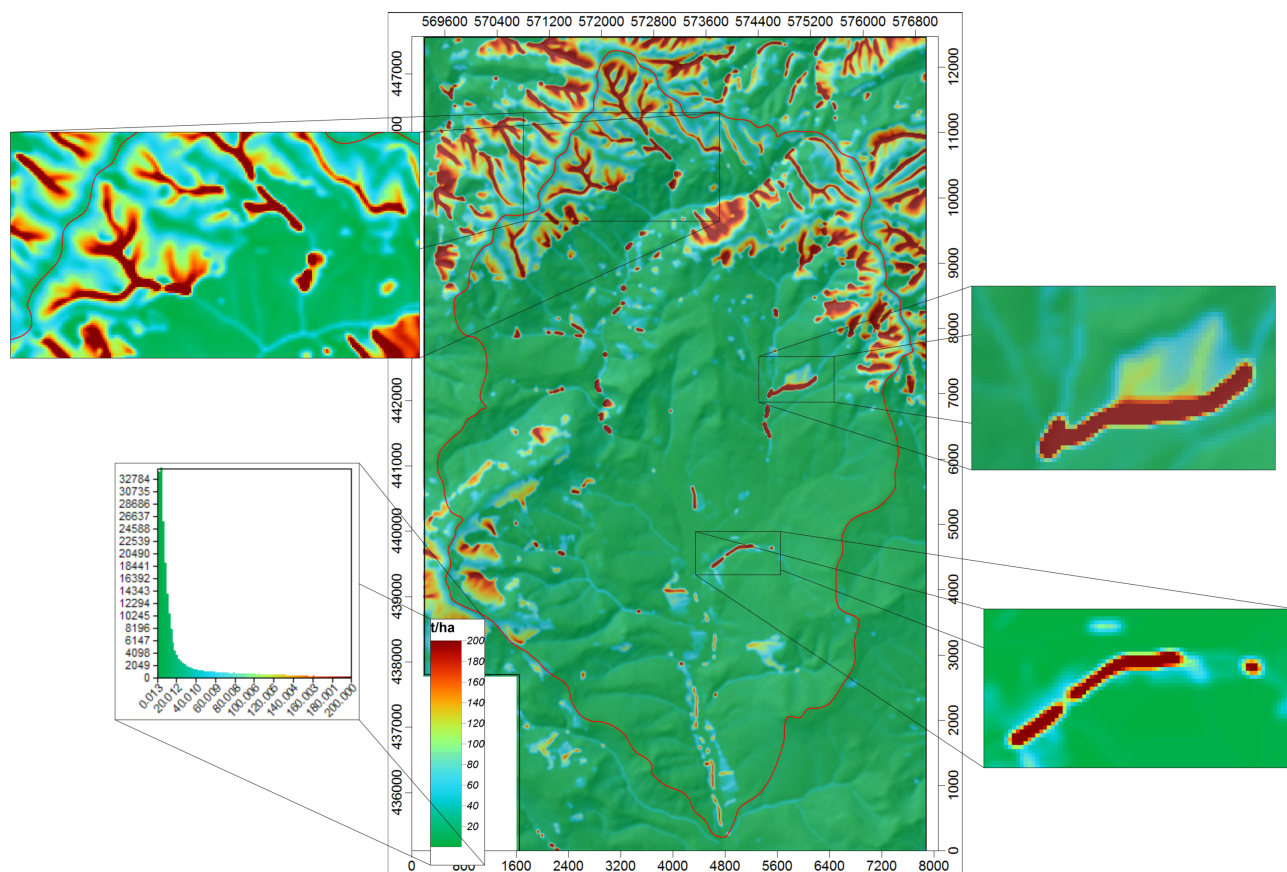


Fig.5. 6: Cantitatea anuală de sol erodat din bazinul montan al Teleajenului

Analiza acestei hărți conduce la formularea următoarelor observații:

- Modelul estimează o cantitate anuală de sol erodat ce variază între 0 și 200 t/ha; există și pixeli cu valoare mai mare decât aceasta, însă, după cum se vede pe histogramă, valorile mai mari de 100 t/ha sunt nesemnificative ca pondere. Aceasta este o estimare realistă ținând cont de faptul că bazinul este împădurit în cea mai mare parte și că nu există exploatare agricole;
- Mare parte a suprafețelor se înscriu în intervalul 0-20 t/ha și corespund arealelor împădurite;
- Cele mai mari valori ale cantității de sol erodat sunt pe interfluvii, pe suprafețe extinse, corespunzătoare arealelor cu vegetație ierboasă, sau stâncărie; talvegurile văilor apar ca linii de concentrare a cantității de sol erodat, fapt ce corespunde cu observația că acestea reprezintă canale de eroziune liniară;
- Detaliile din dreapta hărții accentuează zone în care pădurea a fost înlăturată de curând; aceste modificări apar pe imaginile satelitare și au fost clasificate corect ca areale fără pădure; eroziunea apare așadar mai

intensă decât în zonele din jur similare ca pantă, dar cu pădurea intactă;

- Detaliul din stânga este semnificativ pentru evidențierea amploarei eroziunii liniare în bazinele de recepție ale torenților din etajul subalpin; aici nu vegetația controlează eroziunea ci panta; fenomenul este vizibil și în alte zone montane, în bazinul Azugăi, în Munții Baiului [Oprea, 2005].

5.6. Susceptibilitatea solului la eroziune

Pe baza determinării cantitative a eroziunii solului aplicând ecuația empirică RUSLE, ICPA propune clasificarea arealelor în clase de susceptibilitate. Cu alte cuvinte modelul devine unul predictiv. Corespondența între valorile cantității de sol erodat și susceptibilitatea la eroziune este următoarea [ICPA, 1986]:

- < 1 t/(ha an) – absentă;
- 1 – 8 t/(ha an) – mică;
- 8 – 16 t/(ha an) – moderată;
- 16 – 30 t/(ha an) – mare;
- >30 t/(ha an) – foarte mare.

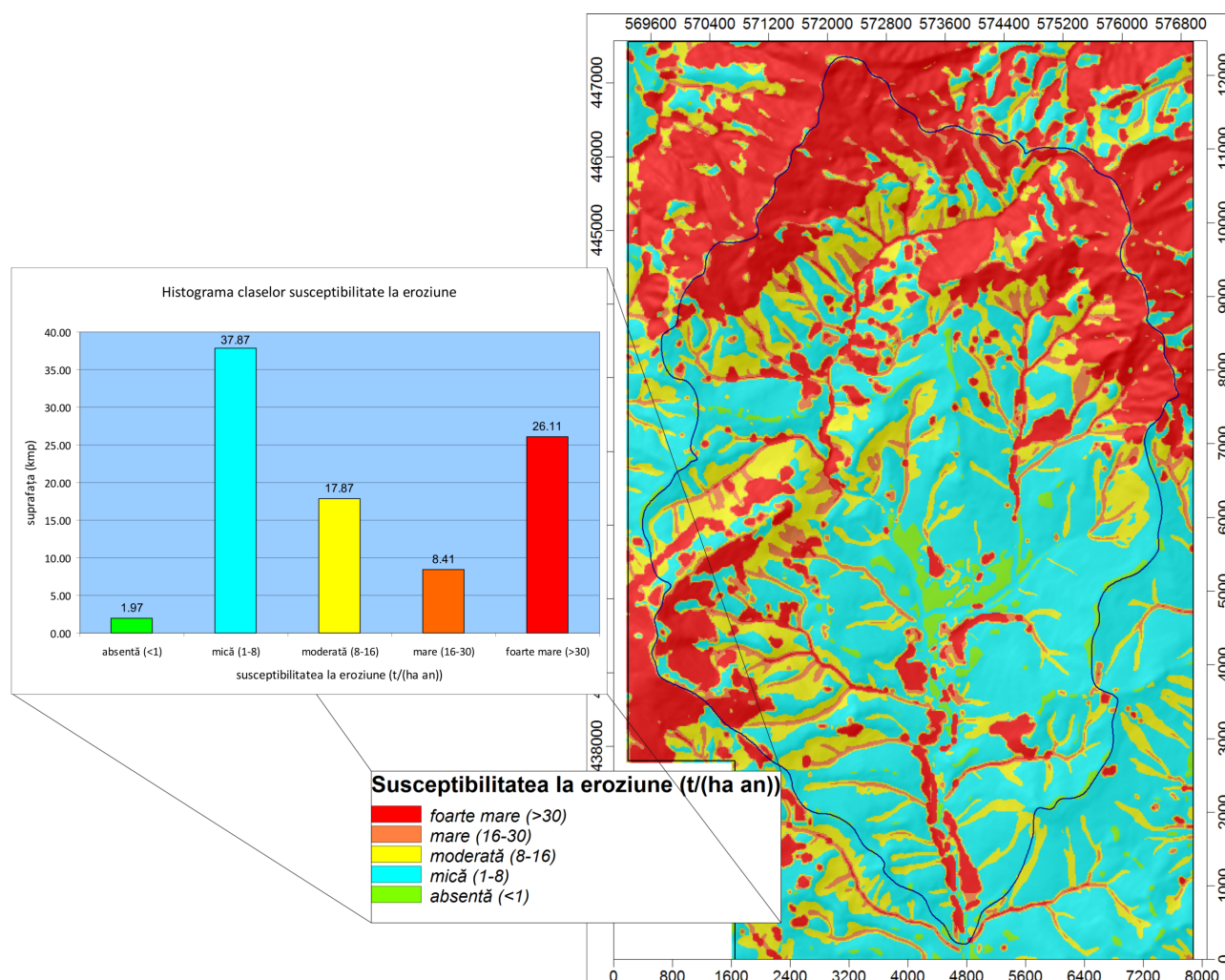


Fig.5. 7: Harta susceptibilității la eroziune în bazinul montan al Teleajenului

Analizând harta din Fig.5. 7 se pot observa următoarele:

- În bazinul montan al Teleajenului predomină suprafețele cu susceptibilitate la eroziune mică (cantitate de sol erodat estimată între 1 și 8 t/ha pe an); următoarea clasă ca pondere este însă cea cu susceptibilitate foarte mare;
- Arealele cu susceptibilitate foarte mare corespund etajului subalpin, de la 1600 m în sus; aici vegetația este ierboasă, însă pajiștile sunt secundare, rezultate în urma tăierii pădurii; pantele sunt mari și observațiile din teren corespund cu predicțiile modelului: aici predomină spălarea în suprafață pe areale extinse, cu fenomene de solifluxiune;
- Văile apar ca areale cu susceptibilitate mare la eroziune, însă de data aceasta este o eroziune liniară;
- Modelul prevede un bazin mai degrabă instabil, ceea ce este în concordanță și cu modelul morfometric al drenajului (cap. 2.2.3) și cu observațiile de pe teren; este un bazin montan, de dimensiuni mici, în care impactul modificărilor acoperirii cu vegetație (prin îndepărtarea pădurii) este foarte ridicat;
- Cele mai stabile areale se localizează în depresiunea Cheia; aici atât panta (valori sub 7°) cât și utilizarea terenurilor (predominanța suprafețelor construite) au un rol protector asupra învelișului de sol; cu toate acestea, apar areale cu susceptibilitate foarte mare, în special în lungul râurilor (de exemplu pârâul Tâmpa la confluența cu Teleajenul) în care se și observă un talveg adâncit și maluri abrupte, specifice unei eroziuni în ritm accentuat;
- Modelul poate fi îmbunătățit; el permite includerea în calcul a transmisivității, adică estimarea cantității de apă ce se infiltrează și nu contribuie la eroziune; de asemenea poate fi îmbunătățit prin cartarea cu acuratețe mai ridicată a arealelor cu diferite tipuri de sol (factorul K) și acoperire cu vegetație (factorul C);
- De asemenea, modelul poate fi folosit în evaluarea impactului unor modificări ale componentelor ce intră în calculul eroziunii, de exemplu în acoperirea cu vegetație, mai exact impactul defrișărilor;
- Rezultatele obținute sunt similare cu cele din studiul lui [Patriche et al., 2006] care a aplicat aceeași ecuație pentru predicția cantității de sol erodat în munții Călimani.

5.7. Concluzii

Evaluarea cantității de sol erodat prin intermediul unei ecuații empirice se dovedește un demers util în estimarea susceptibilității la eroziune. Demersul se rezumă la determinarea valorilor factorilor ecuației, fie prin studii pe platforme-teste și extrapolarea rezultatelor, fie prin interpretarea datelor deja existente privind precipitațiile, proprietățile solului, topografia și acoperirea cu vegetație.

Această ultimă abordare este aplicabilă mai ales în studiile la nivel regional. De menționat inițiativa Comisiei Europene, prin Centrul de Cercetare Integrată (*Joint Research Center - Soil Action*), prin care se dorește realizarea unei baze de date privind solul, la nivel european, în care evaluarea susceptibilității la eroziune se realizează prin metoda descrisă anterior. Un proiect s-a finalizat deja prin realizarea unei hărți a ratei actuale a eroziunii solului în Alpii Italiei, disponibilă pe internet*.

* <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion/ClimChalp/Rusle.html>

Bibliografie

1. ***. 1986. *Metodologia elaborării studiilor pedologice*. ICPA.
2. Blaszczyński J. 2003. Estimating watershed runoff and sediment yield using a GIS interface to curve number and MUSLE models. USDI, Bureau of Land Management. <http://www.blm.gov/nstc/resourcenotes/rn66.html>.
3. Ciucă Maria. 1984. *Flora și vegetația pajiștilor din Masivul Ciucaș*. București: ed. Academiei Române.
4. Eastman J. R. 2006. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University. planet.uwc.ac.za/nisl/Gwen's%20Files/GeoCourse/Resource%20Mapping/Andes%20Manual.pdf.
5. Gallant C., and Hutchinson M. 1997. Scale dependence in terrain analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 43: 313-321.
6. Gallant C., and Wilson J.P. 2000. Primary Topographic Attributes. In *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
7. Hengl T., Gruber S., and Shrestha D. P. 2003. Digital Terrain Analysis in ILWIS. Lecture notes. ITC - International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. http://www.itc.nl/library/Papers_2003/misca/hengl_digital.pdf.
8. Hengl T. 2004. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil-landscape modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5.
9. Huber Viorela. 2001. Cercetări asupra regimului meteorologic al spațiului montan (în Carpații de la Curbură). Teză de doctorat, Universitatea din București.
10. Hutchinson M. F. 1993. Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. In *Environmental Modelling with GIS*. Oxford University Press.
11. Hutchinson M. F. 2000. Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines. *ANZIAM* 42: C774-C796.
12. Ielenicz M. 1984. *Munții Ciucaș-Buzău. Studiu geomorfologic*. București: ed. Academiei Române.
13. Koethe R., and Lehmeier F. 1996. SARA – System zur Automatischen Relief-Analyse. *Benutzerhandbuch* 2.
14. Lee G.S., and Lee K.H. 2006. Scaling effect for estimating soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 3. www.copernicus.org/EGU/hess/hessd/3/135/.

15. Maciu M., Chioreranu Aurora, and Văcaru V. 1982. *Enciclopedia geografică a României*. București: ed. Științifică și Enciclopedică.
16. Marchi L., and Fontana G. 2005. GIS morphometric indicators for the analysis of sediment dynamics in mountain basins. *Environmental Geology* 48: 218-228.
17. Martinoni Daria. 2002. Models and Experiments for Quality Handling in Digital Terrain Modelling. PhD Thesis, University of Zurich. <http://www.geo.uzh.ch/gis/services/downloads/phd/daria/index.html>.
18. Moore I. D., Grayson R. B., and Ladson A. R. 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5, no. 1: 3-30.
19. Moțoc M., Munteanu S., Băloiu V., Stănescu P., and Mihai G. 1975. *Eroziunea solului și metodele de combatere*. București: ed. Ceres.
20. Niculescu G. 1982. Modelarea reliefului în masivul Ciucaș. *BSSGR VI(LXXVI)*.
21. Niculescu G., and Velcea I. 1973. *Județul Prahova*. București: ed. Academiei Române.
22. Oancea D., and Velcea Valeria. 1987. Geografia României III. Carpații Românești și Depresiunea Transilvaniei. In . București: ed. Academiei Române.
23. Olaya V. 2004. *A gentle introduction to SAGA GIS*. 1st ed. <http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php>.
24. Oprea R. 2005. *Bazinul montan al Prahovei. Studiul potențialului natural și al impactului antropic asupra peisajului*. București: ed. Universitară.
25. Patriche C.V., Căpățână V., and Stoica D.L. 2006. Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS. *Geographia Technica* 2.
26. Patrulius D., Dimitrescu R., and Gherasi N. 1968. *Brașov. Harta geologică, scara 1:200 000, foaia L-35-XX. Notă explicativă*. București: Institutul Geologic.
27. Popescu G. 1958. Contribuții la stratigrafia flișului cretacic dintre valea Prahovei și valea Buzăului, cu privire specială asupra văii Teleajenului. *Studii și cercetări de geologi* III, no. 3-4.
28. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., and Yoder D.C. 1996. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agriculture Handbook 703. United States Departement of Agriculture.
29. Săndulescu M. 1984. *Geotectonica României*. București: ed. Tehnică.
30. Sárközy F. 1998. GIS Functions - Interpolation. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*.

http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html.

31. Savel Aurelia. 1955. Izvorul Chilia Popii, Cheia. In *Apele minerale și nămolurile terapeutice din România*, 1: București: Institutul de Balneologie și Fizioterapie.
32. Shary P., Sharaya L., and Mitusova A. 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma* 107.
33. Smith M.J., Goodchild M. F., and Longley P. A. Geospatial Analysis - a comprehensive guide. Electronic book. <http://www.spatialanalysisonline.com/output/>.
34. Țicleanu N., and Csiki Z. 2004. *Introducere în geologia României*. București: Universitatea din București, centrul CREDIS.
35. Wilson J.P., and Gallant C. 2000. *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
36. Wischmeier W.H., and Smith D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook 537.

* Fragment din:

Mihai Terente (2008), Modelarea și analiza digitală a terenului, Lucrarea de licență, Universitatea din București, Facultatea de Geografie