

**Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca
Facultatea de Geografie
Școala Doctorală de Geografie**

TEZĂ DE DOCTORAT

**Efectul schimbărilor climatice asupra debitelor cursurilor de apă din
Depresiunea Maramureș**

- rezumat -

Conducător doctorat
Prof. univ. abil. dr. Adina-Eliza Croitoru

Doctorand
Mugurel Raul Sidău

CLUJ-NAPOCA
2025

Cuprins

1. Introducere	3
2. Stadiul cercetărilor științifice în domeniul temei abordate	7
2.1. Cercetări științifice realizate la nivel internațional	7
2.2. Cercetările științifice realizate la nivel național	10
3. Caracterizarea geografică a arealului de studiu	13
3.1. Alegerea arealului de studiu	13
3.2. Limite geografice.....	14
3.3. Relief	14
3.4. Hidrografia.....	15
3.5. Clima	16
3.6. Caracteristici geologice și influența asupra regimului hidrologic	18
4. Date utilizate și metodologii de analiză	20
4.1. Date.....	20
4.1.1. Date climatice istorice	20
4.1.2. Date hidrologice	23
4.1.3. Imagini satelitare	25
4.1.4. Date cu privire la utilizarea terenului	26
4.1.5. Model Digital al Terenului (DEM)	27
4.2. Metode și tehnici de analiză climatică și hidrologică.....	27
4.2.1. Statistici descriptive	28
4.2.2. Corelații Statistice	28
4.2.3. Analiza distribuțiilor și performanța modelelor	29
4.2.4. Analiza de tendință.....	31
4.2.5. Analiza evenimentelor extreme.....	33
4.2.6. Analiza Spațială.....	35
4.2.7. Analizei abaterilor pe termen lung ale debitelor	36
4.2.8. Modelarea hidrologică.....	37
4.2.9. Extragerea indicatorului Forest Canopy Density (FCD).....	42
4.2.10. Analiza valorilor de precipitații și a hidrografelor de debite comparativ cu evoluția suprafețelor pădurii	48
4.2.11. Simularea proceselor hidrologice cu ajutorul unui model hidrologic	48
5. Rezultate și discuții	57
5.1. Determinarea setului de date zilnic gridat optim.....	57

5.1.1.	Analiza valorilor istorice extreme ale variabilelor analizate.....	57
5.1.2.	Analiza valorilor sezoniere.....	67
5.2.	Evaluarea tendințelor pe termen lung al variabilelor climatice temperatură, precipitații si al debitelor cursurilor de apă	69
5.2.1.	Evaluarea dataset-urilor gridate pentru identificarea tendințelor	69
5.2.2.	Analiza statistică a relației temperatură-precipitații-debite.....	71
5.2.2.1.	Temperatura	72
5.2.2.2.	Precipitații	73
5.2.2.3.	Debit.....	74
5.3.	Evaluarea abaterilor pe termen lung ale debitelor	78
5.3.1.	Analiza schimbărilor estimate la scară sezonieră.....	79
5.3.2.	Analiza combinate pe cele trei scenarii	89
5.4.	Proiecții hidrologice bazate pe scenarii climatice: Analiza impactului prin scenarii de proiecție până în 2100.....	90
5.4.1.	Parametri inițiali ai modelului NAM	91
5.4.2.	Rezultatele calibrării modelului hidrologic.....	93
5.4.3.	Interpretarea comparativă a scenariilor climatice	95
5.5.	Strategii de adaptare la schimbările climatice din perspectiva resurselor de apă și a regimului hidrologic	98
5.5.1.	Recomandări pentru adaptarea la schimbările anticipate în regimul de scurgere ..	100
5.5.2.	Evaluarea eficacității diferitelor strategii de gestionare a resurselor de apă pentru a reduce vulnerabilitatea la schimbările climatice.....	104
5.6.	Evaluarea impactului hidrologic al schimbării suprafețelor împădurite: un studiu de caz bazat pe teledetecție.....	105
5.6.1.	Delimitarea zonelor acoperite de pădure utilizând indicii FCD	105
5.6.2.	Impactul modificărilor în suprafețele împădurite asupra vârfulor de viitură.....	107
6.	Concluzii	116
	Bibliografie.....	119

CUVINTE CHEIE: Schimbări climatice, regim hidrologic, Depresiunea Maramureș, model GIS, interpolare spațială, debite râuri, scenarii climatice (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5), model NAM, analiză spațială GIS, evenimente extreme (viituri, secetă); tendințe climatice; modelare hidrologică; analiză de frecvență, adaptare la schimbările climatice, teledetecție

1. Introducere

Clima este un factor important în dezvoltarea societății, iar schimbările climatice pot afecta profund evoluția civilizațiilor. Istoria oferă multiple exemple de societăți afectate de fenomene climatice extreme.

Conform Grupului Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (IPCC, 2023), schimbările climatice sunt evidente și globale, reflectându-se în variații ale parametrilor climatici și în intensificarea fenomenelor extreme. Cel de-al șaselea raport al IPCC indică faptul că temperatura globală medie a crescut cu aproximativ 1,1°C față de perioada preindustrială. Studiile arată că procesul de încălzire este corelat cu emisiile antropice de gaze cu efect de seră și este preconizat să continue, chiar dacă emisiile ar fi semnificativ reduse.

În contextul schimbărilor climatice, România acordă o atenție sporită atât deficitului de apă ca resursă, cât și modului de utilizare a acesteia. Cererea tot mai mare de apă, în contextul creșterii populației și de dezvoltării economice tot mai accelerate, pune presiune pe resursele disponibile, care se află într-un proces de scădere atât cantitativă, cât și calitativă.

Prin elaborarea modelelor și scenariilor climatice pentru regiunea analizată, sunt necesare instrumente pentru administrațiile regionale care să ajute la realizarea planurilor de management bazinal, a schemelor de amenajare bazinale, a planurilor de management al riscului la inundații etc. Aceste instrumente permit autorităților să anticipeze posibilele evoluții ale resurselor de apă și să adopte măsuri preventive și adaptative.

Strategiile viitoare de dezvoltare trebuie să țină cont de aceste provocări și să includă măsuri precum:

- îmbunătățirea calității apei prin reducerea și/sau controlul poluării;
- elaborarea de ghiduri și proceduri privind un consum rațional al apei, promovând încurajarea eficienței și minimizarea risipei în sectoarele gospodăresc, industrial și agricol, dar și prin campanii de educare și conștientizare a publicului care să promoveze acțiuni responsabile față de resursele de apă;
- implementarea managementului integrat al resurselor de apă, coordonând utilizarea apei în diferite sectoare pentru echilibrarea cererii și ofertei și pentru a proteja ecosistemele acvatice;

- promovarea cercetării și inovării în domeniul tehnologiilor de economisire a apei, cum ar fi irigațiile eficiente, recircularea sau reutilizarea apelor uzate.

Prin focalizarea pe Depresiunea Maramureșului, o zonă cu ecosisteme sensibile și resurse de apă importante, cercetarea își propune să înțeleagă modul în care schimbările climatice afectează regimul hidrologic local. Această zonă servește ca un laborator natural pentru studierea fenomenelor hidrologice în contextul variabilității și schimbărilor climatice actuale.

Scopul principal al acestei cercetări este acela de a evalua modul în care schimbările climatice influențează debitele cursurilor de apă din Depresiunea Maramureșului. Obiectivele specifice includ:

- a. Analiza variațiilor climatice - identificarea tendințelor și schimbărilor climatice în regiune pe baza datelor meteorologice istorice și actuale.
- b. Analiza resurselor hidrologice de suprafață - evaluarea debitelor cursurilor de apă principale (Vișeu, Iza) și identificarea schimbărilor sezoniere și anuale în contextul schimbărilor climatice.
- c. Analiza rezultatelor modelării hidrologice, estimarea evoluției viitoare și a impactului - dezvoltarea modelelor hidrologice pentru a estima impacturile viitoare ale schimbărilor climatice asupra debitelor.

2. Stadiul cercetărilor științifice în domeniul temei abordate

2.1. Cercetări științifice realizate la nivel internațional

Cercetările internaționale privind schimbările climatice sunt susținute de organizații de prestigiu precum IPCC, UNEP, NASA și NOAA. IPCC sintetizează cunoștințele globale despre schimbările climatice prin modele climatice globale (GCM), folosind scenarii socio-economice (SSP) și traiectorii de emisii (RCP). Aceste scenarii ajută la evaluarea evoluțiilor viitoare ale schimbărilor climatice și la identificarea riscurilor climatice.

NASA contribuie la cercetarea climatică globală prin misiuni satelitare care monitorizează variabile precum temperatura, precipitațiile și masele de apă. NOAA utilizează rețele regionale de stații pentru a dezvolta scenarii climatice locale. În Europa, serviciul Copernicus (C3S), Agenția Spațială Europeană (ESA) și Agenția Europeană de Mediu (EEA) furnizează date climatice esențială pentru analizarea și modelarea schimbărilor climatice în România

Cu toate acestea, studiile și metodele utilizate la nivel internațional trebuie contextualizate și adaptate pentru aplicare la scări mai mici. În acest sens, cercetările recente efectuate la nivel regional și local sunt deosebit de relevante pentru subiectul cercetării, întrucât ele abordează dinamica hidrologică specifică și relația cu caracteristicile climatice și geomorfologice.

Studiile recente evidențiază impactul semnificativ al schimbărilor climatice asupra regimurilor hidrologice din bazine hidrografice mici, subliniind vulnerabilitatea accentuată a acestora la variații climatice extreme. Cercetările efectuate de Blöschl et al. (2019) și Steimke et al. (2017) scot în evidență, importanța factorilor locali, inclusiv topografia și permeabilitatea solului, în modularea răspunsului hidrologic la aceste schimbări. În mod particular, studiul lui Viviroli et al. (2011) asupra bazinelor montane din Alpi subliniază sensibilitatea ridicată a acestora la creșterea temperaturilor și accelerarea topirii zăpezii. Analize similare ale lui Muelchi et al. (2021), Secci et al. (2021) și Yeste et al. (2024) utilizează modele climatice și hidrologice pentru a evalua modificările sezoniere și pe termen lung ale debitelor în bazine alpine și diverse regiuni globale, accentuând importanța unei abordări integrate în evaluarea efectelor climatice asupra resurselor de apă.

2.2. Cercetările științifice realizate la nivel național

În România, numeroase studii și proiecte de cercetare au evaluat impactul schimbărilor climatice asupra resurselor de apă și regimului hidrologic al râurilor, folosind abordări și metode variate. Raportul Administrației Naționale de Meteorologie (ANM, 2008) descrie evoluția caracteristicilor climatice utilizând date istorice și modele climatice regionale pentru a identifica tendințele pe termen lung. Cuculeanu et al. (2002) au analizat impactul climatic asupra ecosistemelor și biodiversității, aplicând metode de evaluare a vulnerabilității ecologice și modele climatice în diverse studii de caz.

Bojariu et al. (2015) au cercetat mecanismele fizice ale schimbărilor climatice, prezentând scenarii detaliate, riscuri asociate și recomandări pentru adaptare. Studiul Băncii Mondiale (2013) a evaluat amploarea impactului schimbărilor climatice asupra resurselor integrate de apă din România, propunând strategii de adaptare bazate pe modele climatice și hidrologice detaliate.

Cercetările realizate de Croitoru și Minea (2015) și Croitoru et al. (2013) s-au concentrat asupra modificărilor debitelor râurilor din estul României și a fenomenelor extreme din zona de coastă a Mării Negre, folosind analiza seriilor temporale și teste statistice specifice. Mic și Corbus

(2013) au evaluat impactul climatic asupra râului Someș, prin analize și simulări hidrologice detaliate ale seriilor temporale.

Documentele oficiale, precum „Strategia națională privind schimbările climatice 2013-2020” (Ministerul Mediului, 2013), subliniază importanța măsurilor proactive de adaptare și gestionare a riscurilor climatice. Studiul realizat recent de Chendeș et al. (2024) folosește modele climatice globale și regionale pentru simularea și predicția variabilelor climatice viitoare. Bîrsan (2017) și Croitoru et al. (2012) utilizează teste statistice avansate (precum Mann-Kendall și analiza punctelor de schimbare) pentru identificarea modificărilor semnificative în regimurile hidrologice și climatice ale Carpaților Românești.

Lucrările lui Micu et al. (2021), Zaharia et al. (2018), Sandu et al. (2010) și Minea (2020) contribuie suplimentar prin analiza impactului schimbărilor climatice asupra râurilor din Carpați și estul României, folosind modele avansate.

Toate aceste cercetări demonstrează preocuparea României privind monitorizarea și înțelegerea fenomenului schimbărilor climatice, subliniind necesitatea adaptării continue și a implementării unor politici eficiente pentru a răspunde provocărilor climatice viitoare.

3. Caracterizarea geografică a arealului de studiu

3.1. Alegerea arealului de studiu

Depresiunea Maramureș, localizată în nordul României, este ideală pentru studiul efectelor climatice asupra resurselor hidrologice datorită diversității reliefului, condițiilor climatice variate și impactului limitat al activităților antropice. Bazinele hidrografice ale râurilor Vișeu și Iza sunt integral situate în România. Ambele cursuri de apă își au izvoarele în Munții Rodnei și își urmează apoi cursul prin Depresiunea Maramureș,



Figura 1. Delimitarea Geografică a Zonei Studiate în Depresiunea Maramures

pe care îl străbate de la sud-est la nord-vest, contribuind la formarea peisajului natural și a ecosistemelor întregii regiuni.

3.2. Limite geografice

Zona de studiu este delimitată la nord de râul Tisa, care constituie granița cu Ucraina. La vest se află Munții Gutâi și Oaș, la est Munții Maramureșului, iar la sud Munții Rodnei, Țibleș și Lăpușului. Acești munți influențează semnificativ climatul și hidrologia regiunii (Fig. 1).

3.3. Relief

Regiunea analizată, prezintă altitudini variate, între 200-400 m în nord și 500-700 m în sud. Este înconjurată de munți care depășesc frecvent 1500 m altitudine, inclusiv Vârful Pietrosu Rodnei, cel mai înalt (2303 m), influențând direct climatul regional (Fig 1).

3.4. Hidrografia

Rețeaua hidrografică a arealului studiat este densă și relativ uniform distribuită, cu valori cuprinse între 0,5 și 0,7 km/km², conform Cadastrului Apelor (2005). Aceasta este compusă din râuri care se varsă în Tisa, principalul colector al regiunii (Fig.2). Datorită deschiderii naturale a regiunii spre nord-vest, circulația aerului din această direcție favorizează acumularea unor cantități mari de precipitații, ceea ce contribuie la formarea unor debite ridicate în rețeaua hidrografică.

Râul Tisa, care marchează granița naturală între România și Ucraina pe o distanță de 62 km, primește ca afluenți importanți din România râurile Vișeu, Iza și Săpânța.

Regimul hidrologic al zonei este de tip montan (carpatic), caracterizat prin debite maxime primăvara (în special în luna aprilie), datorită topirii zăpezilor, și debite minime toamna, în luna septembrie.



Figura 2. Rețeaua hidrografică a arealului

3.5. Clima

Climatul regiunii este temperat-continental moderat, influențat de munții înconjurători. Precipitațiile medii anuale variază între 800-1400 mm, cele mai mari cantități fiind înregistrate pe crestele Munților Rodnei și Maramureșului. Temperaturile și precipitațiile manifestă variații sezoniere semnificative.

3.6. Caracteristici geologice și influența asupra regimului hidrologic

După cum se poate observa în figura 3, geologia regiunii este dominată de roci sedimentare, metamorfice și vulcanice, influențând infiltrarea și scurgerea apei. Rocile sedimentare predominante permit infiltrarea moderată, influențând direct regimul hidrologic local.

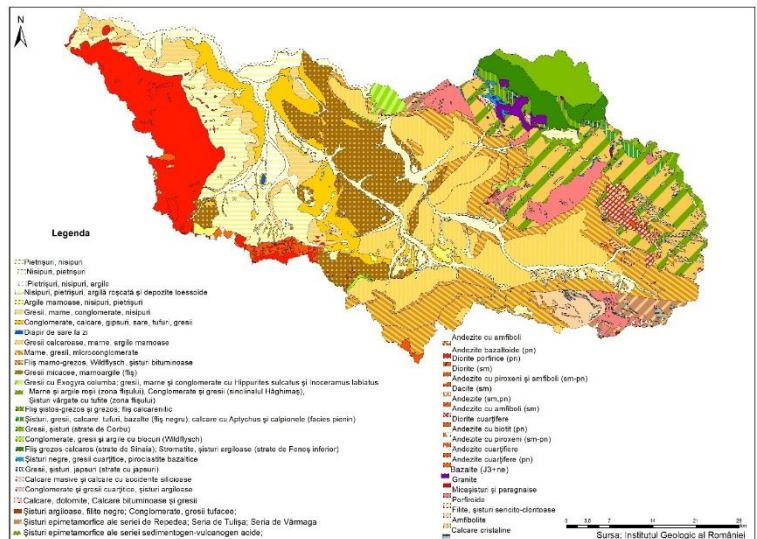


Figura 3. Geologia zonei studiate

4. Date utilizate și metodologii de analiză

4.1. Date

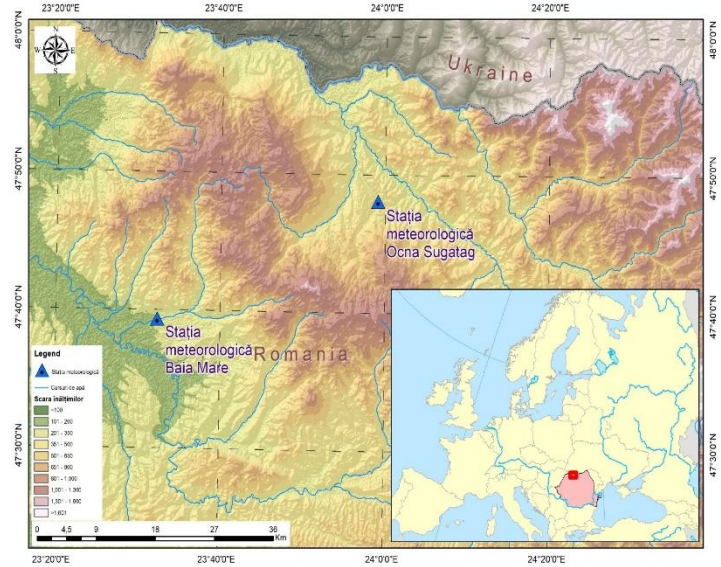
În cadrul acestei lucrări au fost utilizate diverse seturi și formate de date, fiecare având rol în înțelegerea și modelarea proceselor climatice și hidrologice: date climatice, date hidrologice, date satelitare, date de utilizarea terenurilor.

4.1.1. Date climatice istorice

Date observate

Datele climatice utilizate includ atât observații meteorologice punctuale, cât și seturi de date grilate. Observațiile zilnice de temperatură maximă, minimă și precipitații au fost preluate de la stațiile meteorologice din Baia Mare și Ocna Șugatag (Fig. 4,) pentru perioada 1961–2010.

Figura 4. Amplasarea stațiilor meteorologice luate în considerare



Seturi de date grilate/modelate

Au fost analizate datele extrase din trei seturi de date zilnice gridate:

- (i) • **ROCADA** acoperă perioada 1961–2013 și are o rezoluție de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, fiind dezvoltat de ANM (Fig. 5a).
- (ii) • **CarpatClim** oferă date similare pentru 1961–2010, derivate dintr-o rețea extinsă de 585 stații (Fig. 5b).
- (iii) • **E-OBS**, o bază de date europeană (1950–2024), actualizată anual, este recunoscută pentru acuratețea în detectarea extremelor climatice (Fig. 5c).

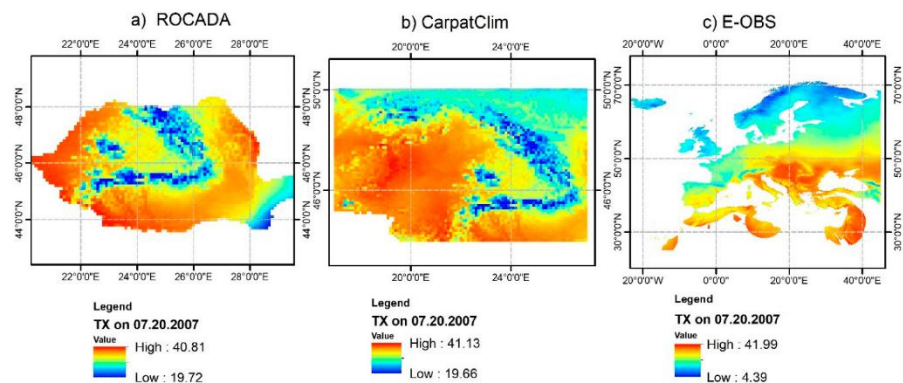


Figura 5. Domeniile spațiale pentru bazele de date utilizate în acest studiu.

- (iv) • **Copernicus Climate Change Service (C3S)** pentru trei scenarii RCP (2.6, 4.5, 8.5) și trei intervale temporale (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100), provenind din modelele CDS (2024).

4.1.2. Date hidrologice

Datele hidrologice includ debitele zilnice medii colectate la stațiile hidrometrice din rețeaua Administrației Naționale „Apele Române” pentru bazinele râurilor Vișeu și Iza (Fig 6). Datele colectate pentru intervale diferite au fost utilizate pentru calibrarea și validarea modelului hidrologic NAM, fiind extrem de importante, permit evaluarea și monitorizarea regimului hidrologic pentru înțelegerea impactului factorilor externi asupra resurselor de apă.

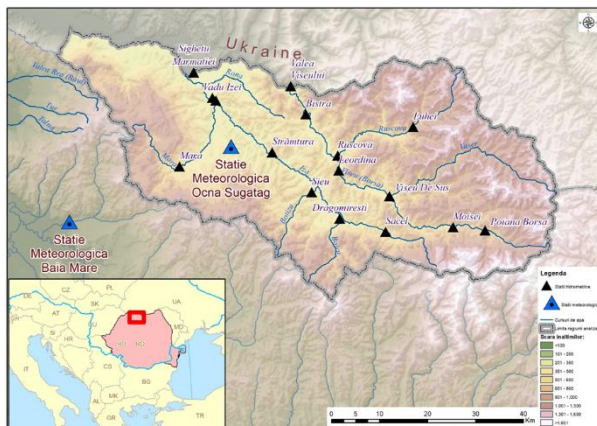


Figura 6. Distribuția stațiilor hidrometrice în Depresiunea Maramureșului

4.1.3. Imagini satelitare

Pentru monitorizarea evoluției acoperirii terenului, au fost utilizate imagini Landsat (1985–2019, furnizate de USGS). Au fost selectate exclusiv imagini clare, fără nori, convertite la 8 biți. Validarea acestora s-a realizat prin comparare cu ortofotoplanuri furnizate de ANCPI.

4.1.4. Date cu privire la utilizarea terenului

Datele privind utilizarea terenurilor provin din baza de date CORINE Land Cover (CLC), ediția din 2018, administrată de Agenția Europeană de Mediu (EEA). Aceste date sunt utilizate pentru a analiza modul în care schimbările în utilizarea terenurilor afectează procesele hidrologice și climatice.

4.1.5. Model Digital al Terenului (DEM)

DEM-ul utilizat provine din Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), având o rezoluție spațială de 30 m. DEM-ul a fost utilizat pentru extragerea parametrilor topografici: panta, expunerea, fragmentarea terenului și zonele de acumulare, precum și pentru generarea hărților tematice.

4.2. Metode și tehnici de analiză climatică și hidrologică

Capitolul detaliază metodele și tehnicile utilizate pentru colectarea, analiza și interpretarea datelor climatice și hidrologice. Studiul a inclus statistici descriptive, analize de corelație, analize de tendință și metode avansate de analiză spațială și hidrologică.

4.2. 1. Statistici descriptive

Statisticile descriptive utilizate au inclus media aritmetică, eroarea standard, mediana, modulul, abaterea standard, varianța, asimetria și intervalul de încredere (95%). Statisticile descriptive au fost calculate pentru fiecare set de date și servesc drept bază pentru analizele ulterioare.

4.2. 2. Corelații Statistice

Secțiunea privind corelațiile statistice analizează relațiile dintre variabile climatice (temperatură și precipitații) și debitele râurilor, pentru a înțelege modul în care acestea interacționează și influențează regimul hidrologic în contextul schimbărilor climatice. S-au utilizat **coeficientul de determinare (R^2)** pentru a evalua performanța modelelor de regresie și **coeficientul de corelație Pearson (r)** pentru a cuantifica forța și direcția relației dintre variabile. Datele au fost standardizate pentru a permite **comparații** corecte între serii cu unități și scări diferite. Analiza a vizat atât valori anuale, cât și sezoniere, identificând legături semnificative între factorii climatici și variațiile debitelor.

4.2. 3. Analiza distribuțiilor și performanța modelelor

Acest subcapitol tratează analiza distribuțiilor și evaluarea performanței modelelor climatice și hidrologice, esențiale pentru validarea acurateței predicțiilor. Două metode principale sunt utilizate: diagramele Taylor și testul Kolmogorov-Smirnov (K-S). **Diagramele Taylor** oferă o reprezentare grafică complexă a concordanței dintre modelele simulate și datele observate, prin coeficientul de corelație Pearson, eroarea pătratică medie (RMSE) și deviația standard. Acestea permit evaluarea vizuală rapidă a modelelor în ceea ce privește fidelitatea față de valorile reale măsurate.

În paralel, testul **K-S** este folosit pentru a compara distribuțiile statistice, fie între un set de date observat și unul teoretic, fie între două seturi de date empirice, pentru a verifica dacă provin din aceeași distribuție. Un p -value scăzut în acest test indică o diferență semnificativă între distribuții.

4.2. 4. Analiza de tendință

Subcapitolul detaliază metodele utilizate pentru identificarea și cuantificarea tendințelor pe termen lung în variabile climatice și hidrologice, precum temperatura, precipitațiile și debitele râurilor. Două metode principale au fost aplicate: *analiza de regresie* (liniară și multiplă) și *testele statistice non-parametrice* (Mann-Kendall și panta Sen).

Regresia liniară simplă a fost folosită pentru a evalua evoluția în timp a variabilelor individuale, cum ar fi temperatura sau debitul, iar coeficienții obținuți prin metoda celor mai mici pătrate (OLS) au indicat dacă tendințele erau semnificative statistic. *Regresia multiplă* a permis analiza relațiilor complexe dintre mai mulți factori predictivi (climatici și geografici) și variațiile de debit, pentru a determina influența acestora.

Pentru a depista tendințe monotone în serii temporale, au fost aplicate testele *Mann-Kendall* și panta *Sen*. *Testul Mann-Kendall* determină dacă o variabilă climatică sau hidrologică are o tendință ascendentă sau descendentă, fără a presupune o distribuție normală a datelor. După identificarea unei tendințe, panta Sen a fost folosită pentru a estima magnitudinea acesteia, oferind o estimare corectă a ratei de schimbare pe termen lung.

Exemple din literatura de specialitate (Kumar et al., Tabari & Talaei, Şen) au demonstrat aplicabilitatea acestor metode în diferite regiuni ale lumii pentru evaluarea tendințelor climatice și hidrologice. Combinația de metode, asigură o analiză cuprinzătoare a datelor climatice și hidrologice, necesară pentru interpretarea și predicția schimbărilor de mediu.

4.2. 5. Analiza evenimentelor extreme

Acest subcapitol evidențiază influența evenimentelor meteo-climatice extreme, precum valurile de căldură și ploile torențiale, asupra regimului hidrologic, în special asupra debitelor și morfologiei albiilor. În contextul schimbărilor climatice, s-a constatat o modificare a frecvenței și intensității acestor fenomene, ceea ce impune o analiză riguroasă pentru evaluarea riscurilor și adaptarea corespunzătoare.

Analiza s-a desfășurat pe două direcții: (i) *identificarea și analiza evenimentelor climatice extreme* și (ii) *evaluarea impactului acestora asupra debitelor*. Pentru prima etapă, au fost utilizate date grdate zilnice (E-OBS) privind temperatura și precipitațiile, prelucrate în R și ArcGIS Pro. Seturile de date au fost decupate la nivelul Depresiunii Maramureș, iar evenimentele extreme au fost definite pe baza pragurilor POT (percentila 90 pentru valori ridicate și percentila 10 pentru cele scăzute). A fost analizată frecvența acestor evenimente în timp, iar pe baza setului de date C3S au fost realizate proiecții climatice până în 2100.

În a doua etapă, evenimentele climatice identificate au fost corelate cu valorile debitelor măsurate. Au fost aplicate metode statistice (inclusiv EFA și POT) pentru a evalua influența fenomenelor extreme asupra valorilor hidrologice. Seriile temporale au fost împărțite în patru intervale (1961–2020) pentru a compara evoluțiile în timp. De asemenea, datele climatice și hidrologice au fost standardizate pentru a permite comparații directe, eliminând influența unităților diferite. Analiza a permis identificarea relațiilor dintre temperatură, precipitații extreme și debitele maxime, indicând perioade cu risc hidrologic crescut.

4.2. 6. Analiza Spațială

Analiza spațială s-a concentrat pe identificarea zonelor afectate de schimbările climatice, evaluând modul în care temperatura și precipitațiile influențează abaterile față de valorile medii din perioada de referință 1961–1990. Datele climatice, preluate din seturile E-OBS, au fost grupate în trei intervale: 1991–2001, 2002–2012 și 2013–2023. Pentru fiecare interval s-au calculat mediile anuale ale temperaturii și precipitațiilor, iar apoi au fost comparate cu perioada de referință utilizând testul t pentru a verifica semnificația statistică a schimbărilor. Analiza s-a realizat cu ajutorul tehnicilor GIS.

4.2. 7. Analizei abaterilor pe termen lung ale debitelor

În cadrul acestui subcapitol se prezintă analiza abaterilor pe termen lung ale debitelor față de o perioadă de referință, utilizând date climatice și hidrologice furnizate de C3S, în format NetCDF. Scenariile climatice RCP 2.6, 4.5 și 8.5 au fost analizate pentru trei intervale de timp (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100), iar datele au fost procesate inițial lunar și apoi agregate sezonier și anual. Sezoanele climatice (iarna, primăvara, vara, toamna) au fost investigate pentru a evalua impactul schimbărilor climatice asupra regimului hidrologic în funcție de perioadă. Rezultatele sunt

prezentate sub formă de hărți raster, cu scopul de a identifica variațiile spațiale ale debitelor și zonele cu risc crescut.

4.2. 8. Modelarea hidrologică

Acest subcapitol detaliază aplicarea modelării hidrologice pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra regimului debitelor, utilizând modelul conceptual NAM integrat în platforma DHI MIKE 11. Modelul a fost calibrat pe baza datelor istorice (2008–2017) din 16 stații hidrometrice din bazinul Vișeu–Iza. Calibrarea a fost realizată prin ajustarea iterativă a parametrilor modelului (precum U_{max} , L_{max} , CQOF, CK1 etc.), iar performanța a fost evaluată prin indicatori statistici precum NSE, MAE și R^2 .

Ulterior, în model au fost integrate scenarii climatice viitoare (GFDL CM2.0 SRES B1, HadCM3 SRES B1, HadGEM1 SRES A1B), cu date corectate statistic și adaptate spațial-temporal. Aceste scenarii au permis simularea potențialelor modificări ale debitelor până la sfârșitul secolului, evidențiind riscuri crescute de inundații sau secete, în funcție de scenariul considerat.

Validarea modelului a fost efectuată pe o perioadă diferită de calibrare, pentru a testa robustețea și acuratețea acestuia. În plus, s-au realizat analize de sensibilitate pentru a identifica parametrii cu cea mai mare influență asupra rezultatelor. Prin utilizarea unui ansamblu de modele și scenarii, s-au abordat incertitudinile climatice, reducând riscul de dependență de un singur set de ipoteze și oferind o gamă extinsă de proiecții privind evoluția hidrologică în contextul schimbărilor climatice.

4.2. 9. Extragerea indicatorului Forest Canopy Density (FCD)

Subcapitolul detaliază utilizarea indicatorului **Forest Canopy Density (FCD)** ca instrument de teledetecție pentru evaluarea densității coronamentului forestier și analiza impactului modificărilor de acoperire forestieră asupra regimului hidrologic, aplicat în bazinul superior al râului Ruscova. Zona a fost aleasă datorită gradului ridicat de împădurire, lipsei intervenției antropice majore și prezenței activităților de reîmpădurire/defrișare. (Fig.8).

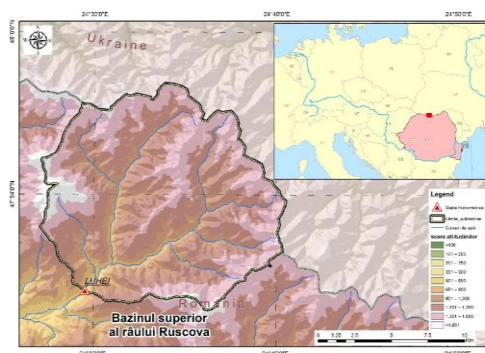


Figura 8. Zona de studiu de caz și locația stației hidrometrice considerate

Analiza s-a bazat pe imagini satelitare Landsat (1985–2019), din care au fost derivați patru indici de vegetație: AVI, SI, BI și TI. Aceștia au fost calculați prin metode standardizate, după normalizarea benzilor spectrale, și au permis derivarea a două componente esențiale: **VD (densitatea vegetației)** și **SSI (indicele umbră scalat)**. Combinarea acestora a condus la obținerea valorii FCD, exprimată procentual (0–100%) (vezi figura 9).

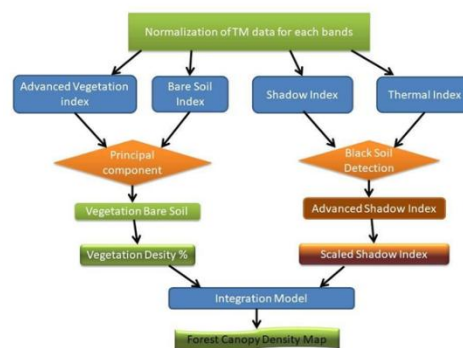


Figura 9. Diagrama fluxului de lucru pentru obținerea indicelui FCD.

Modelul a fost implementat în **Model Builder din ArcGIS Desktop**, iar acuratețea metodei a fost evaluată prin coeficientul **kappa (κ)**, folosind 20 de puncte de verificare comparate cu ortofotoplanuri din 2018. Clasificările automate (împădurit vs. neîmpădurit) au fost validate în teren, iar discrepanțele au fost analizate pentru a identifica posibilele surse de eroare (geolocație, variabilitate spectrală etc.).

4.2. 10. Analiza valorilor de precipitații și a hidrografelor de debite comparativ cu evoluția suprafețelor pădurii

Se analizează relația dintre precipitații, debite și evoluția suprafețelor împădurite, evidențiind rolul pădurilor în reglarea scurgerii de suprafață. Compararea valorilor de debit cu evoluția indicelui de densitate al padurii, oferă indicii despre influența pădurii asupra regimului hidrologic și asupra coeficienților de scurgere. Totuși, aceste comparații nu pot izola cu precizie efectul pădurii, din cauza influenței multiplelor variabile externe, precum clima, solul, geologia și utilizarea terenului, care pot distorsiona rezultatele.

4.2. 11. Simularea proceselor hidrologice cu ajutorul unui model hidrologic

Acest subcapitol prezintă aplicarea modelului hidrografului unitar (UHM), integrat în modulul *Mike Hydro River* de la DHI, pentru simularea proceselor hidrologice și evaluarea influenței pădurilor asupra regimului scurgerilor în Depresiunea Maramureșului. Modelul UHM a fost ales datorită capacității sale de a analiza impactul modificărilor acoperirii forestiere asupra debitelor, fiind singurul model disponibil în platforma MIKE Hydro River care permite această analiză. Cu toate acestea, modelul nu poate simula corect scurgerile influențate de topirea zăpezii, motiv pentru

care au fost selectate doar evenimente din sezonul cald (iunie–septembrie), când influența ninsorilor este minimă.

Modelarea se bazează pe metoda *SCS-Curve Number (CN)*, care estimează scurgerea de suprafață în funcție de caracteristicile solului, utilizarea terenului și starea hidrologică. În cadrul acestui studiu, au fost procesate hărți tematice (model digital al terenului – DEM, panta, textura solului, precipitații zilnice), utilizând ArcGIS Pro (vezi figura 10). Pe baza acestor date au fost calculați parametri hidrologici necesari modelului: lungimea hidraulică, panta, debitul de bază și suprafața bazinului. Textura solului a fost obținută de la ICPA, iar precipitațiile zilnice au fost extrase din setul E-OBS, distribuite spațial prin poligoane Thiessen.

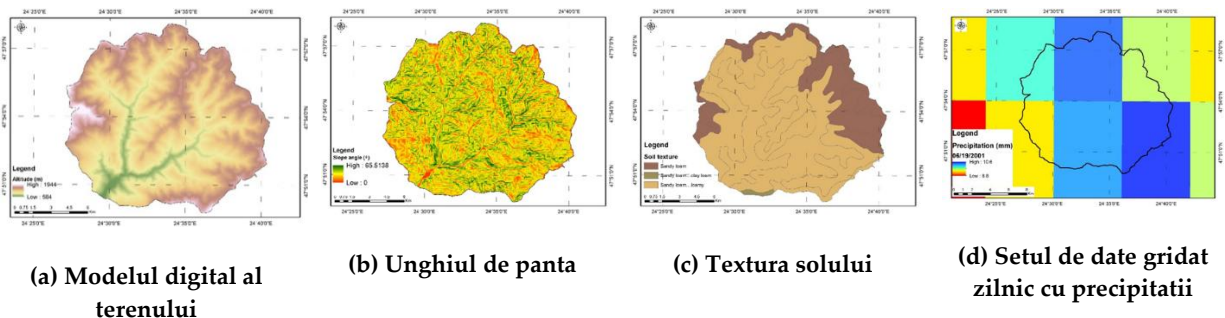


Figura 10. Hărți tematice utilizate în model.

Indicele CN a fost determinat în funcție de grupa hidrologică a solului și de utilizarea terenului, fiind aplicată o clasificare adaptată condițiilor din România (vezi tabelul 1). Pe baza acestui indice, a fost calculată o medie ponderată a valorilor CN pentru întregul bazin. Modelul a fost calibrat pe un eveniment anual izolat, selectat astfel încât debitul simulat să fie cât mai apropiat de cel observat. Parametri precum timpul de întârziere (calculat cu formula standard SCS), panta și suprafața bazinului au fost extrași direct din DEM (vezi tabelul 2).

Tabel 1. Valorile CN ale tipurilor de utilizare a terenului și ale grupului de sol hidrologic utilizate în prezentul studiu.

Nr.c rt	Categoria de utilizare a terenului	Grup de Sol Hidrologic			
		A	B	C	D
1	Zonă urbană discontinuă	-	89	-	-
2	Pășuni	-	69	-	-
3	Păduri de foioase	-	66	-	-
4	Păduri de conifer	34	60	73	-
5	Păduri de amestec	38	62	75	-

6	Fânețe naturale	49	69	79	-
7	Mlaștini și turbării	49	69	-	-
8	Areale de tranziție pădure–tufișuri (arbuști)	45	60	-	-

Valorile CN adaptata pentru România după Chendes (Chendes, 2011).

Tabel 2. Valorile parametrilor utilizați pentru calibrarea modelului.

Lungimea hidraulică (km)	Panta (%)	Debitul de bază (m ³ /s)	Suprafața bazinului km ²
6.124 km	42,5	2	185.656

Pentru evaluarea efectului modificărilor vegetației forestiere, au fost analizate trei scenarii:

- **S1** – scenariul de bază, care reflectă situația actuală, utilizat pentru calibrarea fiecărui eveniment anual,
- **S2** – scenariul cu suprafața maximă împădurită (determinată în 1986, 162 km²),
- **S3** – scenariul cu suprafața minimă împădurită (calculată pentru 2003, 135 km²).

Scopul acestor scenarii a fost evaluarea influenței pădurilor asupra reducerii vârfului de viitură, pe fondul variabilității anuale a cantității și intensității precipitațiilor. Deoarece modelul UHM nu include temperatura ca parametru de intrare, el nu poate simula corect episoadele de topire a zăpezii, ceea ce a condus la discrepanțe între debitele simulate și cele observate în lunile martie–aprilie.

Luând în considerare cele precizate mai sus, cea mai bună metodă de evaluare a influenței pădurii asupra reducerii vârfului de viitură este să luăm în considerare trei scenarii: scenariul 1 (S1) este cel inițial și pentru care calibrăm modelul pentru fiecare eveniment anual; scenariul 2 (S2) presupune ipoteza că aria împădurită se află la aria potențială maximă de împădurire și reprezintă cea mai mare suprafață din perioada analizată și calculată prin metoda indicelui FCD (aria împădurită determinată în 1986 a fost cea mai mare, de 162 km²); scenariul 3 (S3) opus S2, se referă la aria minimă calculată pe baza indicelui FCD și corespunde cu suprafața calculată pentru anul 2003 (135 km²) (Figura 11).

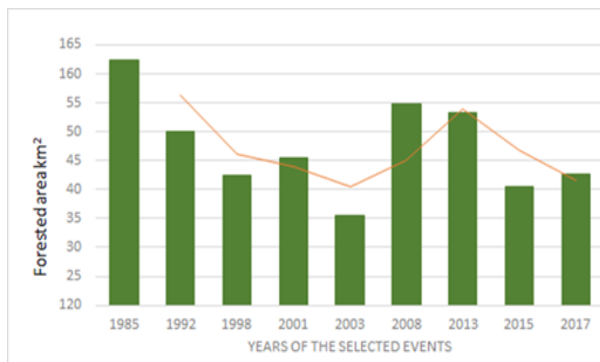


Figura 11. Evoluția suprafeței împădurite.

e. Determinarea acurateții metodei

Pentru a evalua acuratețea metodei de analiză, imaginile ortofoto au fost comparate cu imaginile satelitare Landsat prelucrate. Această comparare a implicat verificarea concordanței între limitele suprafețelor de utilizare a terenului identificate în imaginile Landsat și cele observate în imaginile ortofoto. Zonele de interes, cum ar fi suprafețele împădurite, terenurile agricole și zonele urbane, au fost analizate în detaliu pentru a identifica eventualele discrepante.

5. Rezultate și discuții

5.1. Determinarea setului de date zilnic gridat optim

5.1.1. Analiza valorilor istorice extreme ale variabilelor analizate

Subcapitolul oferă o evaluare detaliată a performanței a trei seturi de date climatice gridate (ROCADA, CARPATCLIM și E-OBS) în comparație cu valorile observate la stațiile meteorologice Baia Mare și Ocna Șugatag, în ceea ce privește extremele istorice de temperatură (Tmax și Tmin) și precipitații zilnice (RR). Analiza se bazează pe metoda descrisă de Sidău et al. (2021) și urmărește identificarea setului de date care reproduce cel mai fidel valorile reale.

O primă observație relevantă este legată de **anomaliile de interpolare** întâlnite în seturile ROCADA și CARPATCLIM, unde variațiile spațiale abrupte ale temperaturii (Figura 18) sugerează o posibilă limitare a metodelor MISH și MASH aplicate în procesul de interpolare. În schimb, setul E-OBS, care utilizează kriging, oferă o distribuție spațială mai realistă pentru temperatură, dar are o acuratețe mai scăzută pentru precipitații, din cauza densității reduse a stațiilor meteorologice utilizate (Figura 12).

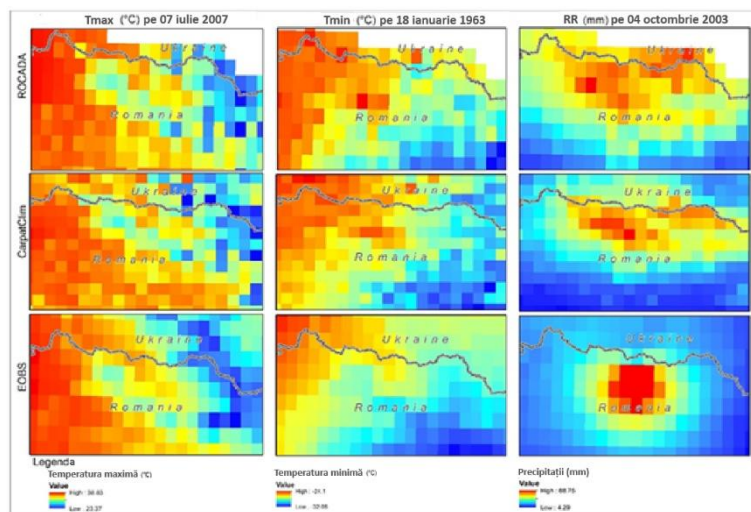


Figura 12. Distribuția spațială a valorilor istorice Tmax, Tmin și RR în zona de studiu (Sidău, Croitoru, et al., 2021)

Analiza statisticii descriptive (Tabelele 3 și 4) arată că:

- Valorile medii sunt în general mai apropiate de observații în cazul ROCADA.
- Parametrii care descriu forma distribuției (asimetrie, curtosis) indică o apropiere mai bună între valorile observate și setul E-OBS, în special pentru temperatura minimă și maximă.

Tabel 3. Statistici descriptive pentru stația meteorologică Baia Mare (Sidău, et al., 2021)

	Tmax				Tmin				Rain			
	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS
Mean	15.16	15.16	16.13	15.12	5.32	4.69	4.72	5.17	2.47	2.09	2.13	2.13
Standard Error	0.075	0.076	0.078	0.074	0.059	0.060	0.060	0.059	0.04	0.032	0.032	0.034
Mediana	16.2	16.3	17.48	16.17	6.1	5.47	5.53	5.95	0	0.15	0.14	0
Mode	24	26.33	24.68	23.72	10	0.57	10.64	10.06	0	0	0	0
Standard Deviation	10.08	10.24	10.48	10.03	8.03	8.07	8.12	7.94	5.70	4.31	4.37	4.54
Sample Variance	101.63	104.88	109.75	100.60	64.42	65.12	65.94	63.06	32.43	18.61	19.13	20.64
Kurtosis	-0.98	-1.01	-1.07	-0.99	-0.14	-0.04	-0.07	-0.16	30.99	23.12	22.46	25.80
Skewness	-0.22	-0.23	-0.23	-0.22	-0.52	-0.55	-0.56	-0.52	4.30	3.83	3.79	3.85
Range	53.7	54.53	53.59	53.25	54.8	50.18	50.1	53.29	121.4	77.25	76.09	92.7
Minimum	-16.1	-16.81	-13.48	-16.04	-29.9	-28.59	-28.68	-29.01	0	0	0	0
Maximum	37.6	37.72	40.11	37.21	24.9	21.59	21.42	24.28	121.4	77.25	76.09	92.7
Confidence level (95%)	0.146	0.149	0.152	0.145	0.116	0.117	0.118	0.115	0.083	0.063	0.064	0.066

Tabel 4. Statistici descriptive pentru stația meteorologică Ocna Șugatag (Sidău, et al., 2021)

	Tmax				Tmin				RR			
	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS	Obs.	Rocada	Carpat Clim	E-OBS
Mean	13.20	14.24	15.70	12.51	3.80	4.31	4.05	3.25	2.05	2.02	2.11	2.07
Standard Error	0.072	0.073	0.079	0.072	0.059	0.061	0.061	0.058	0.036	0.032	0.032	0.033
Mediana	14.2	15.24	16.97	13.50	4.6	5.08	4.89	4.04	0	0.15	0.190	0
Mode	21	24.99	25.43	21.49	10	6.87	10.92	-0.51	0	0	0	0
Standard Deviation	9.53	9.66	10.44	9.46	7.78	8.05	8.07	7.75	4.87	4.24	4.32	4.39
Sample Variance	90.86	93.40	109.07	89.58	60.52	64.72	65.17	60.11	23.72	17.94	18.63	19.28
Kurtosis	-0.972	-1.006	-1.070	-0.981	-0.387	-0.254	-0.238	-0.360	33.635	24.102	21.729	24.166
Skewness	-0.214	-0.194	-0.225	-0.204	-0.479	-0.511	-0.534	-0.483	4.656	4.005	3.837	3.894
Range	50.6	51.69	53.59	50.41	46.6	47.78	47.06	45.98	82.2	67.74	65.8	76.5
Minimum	-15.6	-15.5	-13.48	-16.25	-25.7	-27.24	-26.93	-26.65	0	0	0	0
Maximum	35.0	36.2	40.1	34.2	20.9	20.5	20.1	19.3	82.2	67.7	65.8	76.5
Confidence level (95%)	0.142	0.144	0.155	0.141	0.116	0.120	0.120	0.114	0.071	0.062	0.063	0.064

Coeficienții de corelație Pearson (Tabelul 5) confirmă o corelație foarte bună (peste 0,95) între toate seturile și datele observate, cu performanțe superioare pentru ROCADA la stația Baia Mare

și pentru E-OBS la Ocna Șugatag. Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru temperaturile minime, în timp ce precipitațiile au generat valori mai scăzute, aspect explicabil prin variabilitatea spațială ridicată a acestui parametru în zonele montane..

Tabel 5. Coeficientul de corelație Pearson între seriile de date gridate și valorile observate pentru temperaturi extreme (maxime și minime) și precipitații (1961-2010) (Sidău, et al., 2021)

	Set de date gridat	SM Baia Mare	SM Ocna Șugatag
Tmax	ROCADA	0.998	0.997
	CARPATCLIM	0.949	0.997
	E-OBS	0.996	0.999
Tmin	ROCADA	0.995	0.992
	CARPATCLIM	0.994	0.994
	E-OBS	0.989	0.998
Precipitații	ROCADA	0.954	0.888
	CARPATCLIM	0.952	0.892
	E-OBS	0.913	0.925

În continuare, analiza valorilor percentile extreme (1 și 99) a fost aprofundată prin regresii liniare și diagrame Taylor. Rezultatele arată că:

- La Ocna Șugatag, pentru percentila 99, E-OBS este cel mai apropiat de observații (Figura 13), în timp ce pentru Baia Mare, ROCADA se potrivește cel mai bine, în special la Tmax (Figura 14).
- Tabelul 6 indică cele mai mari coeficiente Pearson pentru Tmax și Tmin la Ocna Șugatag în cazul E-OBS, iar pentru Baia Mare, ROCADA oferă cele mai bune rezultate.
- În ceea ce privește percentila 01 (valori minime), E-OBS are performanțe superioare la Ocna Șugatag pentru ambele variabile (Tmax și Tmin), iar la Baia Mare, E-OBS se remarcă printr-un coeficient foarte ridicat pentru Tmin (Tabelul 7).

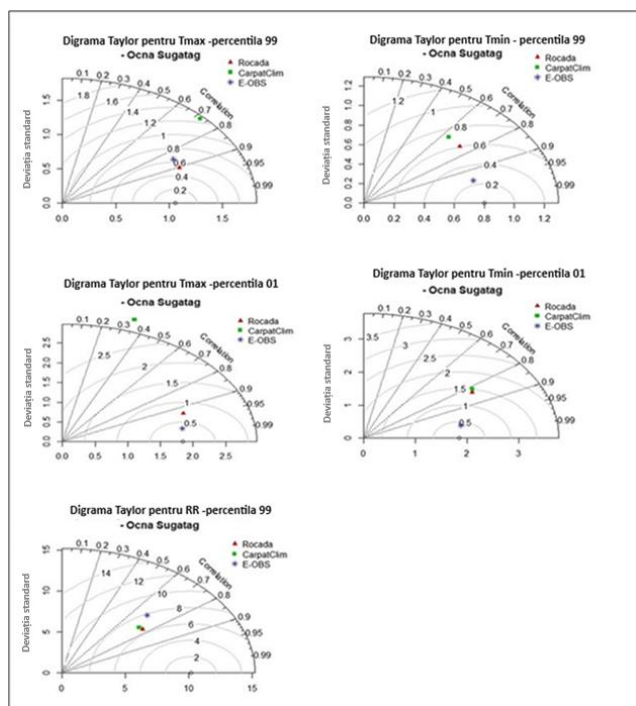


Figura 13. Diagrama Taylor pentru percentila 1 și 99 pentru stația meteo Ocna Șugatag (Sidău, et al., 2021)

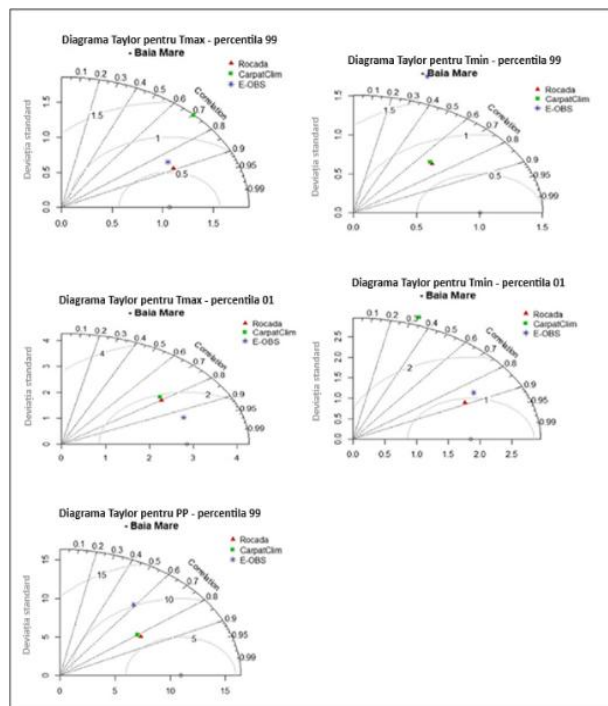


Figura 14. Diagrama Taylor pentru percentilele 01 și 99 - stația meteo Baia Mare (Sidău și colab, 2021)

Tabel 6. Coeficientul de corelație Pearson între seturile de date gridate și de observație pentru valorile percentilei 99 (maxime și minime) ale temperaturilor și precipitațiilor (1961-2010) (Sidău, et al., 2021)

	Gridded dataset	MS Baia Mare	MS Ocna Șugatag
Tmax	ROCADA	0.7983	0.8895
	CARPATCLIM	0.4994	0.2806
	E-OBS	0.7267	0.9542
Tmin	ROCADA	0.4981	0.5445
	CARPATCLIM	0.4667	0.4097
	E-OBS	0.1018	0.9073
Precipitation	ROCADA	0.6779	0.5855
	CARPATCLIM	0.6374	0.5447
	E-OBS	0.3458	0.475

Tabel 7. Coeficientul de corelație Pearson între seturile de date gridate și cele de observație pentru valorile percentilei 01 (maximă și minimă) a temperaturilor (1961-2010)(Sidău și colab, 2021)

	Gridded dataset	MS Baia Mare	MS Ocna Șugatag
Tmax	ROCADA	0.7958	0.8677
	CARPATCLIM	0.1096	0.1132
	E-OBS	0.7367	0.9678
Tmin	ROCADA	0.6423	0.6951
	CARPATCLIM	0.6035	0.6676
	E-OBS	0.8784	0.9585

De asemenea, au fost extrase valorile extreme anuale pentru fiecare parametru (50 ani), permițând o analiză suplimentară.

În final, chiar dacă ROCADA oferă o potrivire mai bună pentru medii și la unele locații, setul E-OBS reușește să surprindă mai bine valorile extreme, în special în cazul temperaturilor, ceea ce îl face potrivit pentru analize axate pe evenimente climatice severe. Totuși, pentru precipitații, ROCADA rămâne cel mai performant, în special datorită densității ridicate de stații meteorologice utilizate.

5.1.2. Analiza valorilor sezoniere

În cadrul acestui subcapitol se prezintă o evaluare comparativă a distribuțiilor sezoniere ale principalelor seturi de date climatice gridate (E-OBS, ROCADA, CarpatClim), raportate la datele observate pentru stațiile meteorologice Baia Mare și Ocna Șugatag, în perioada 1961–2010. Analiza a fost realizată utilizând testul Kolmogorov-Smirnov (K-S) și diagramele Taylor, pentru parametrii temperatură maximă, temperatură minimă și precipitații, în sezoanele de iarnă și vară.

În sezonul de iarnă, valorile setului de date E-OBS prezintă cea mai apropiată distribuție cumulativă față de valorile observate, cu excepția temperaturii minime înregistrate la Ocna Șugatag, unde ROCADA are o potrivire mai bună. Setul ROCADA are în general valori K-S relativ apropiate de cele ale E-OBS, în timp ce CarpatClim indică abateri mai mari, mai ales pentru precipitații.

Pentru sezonul de vară, analiza scoate în evidență o ușoară schimbare: ROCADA oferă cele mai mici abateri (D) pentru temperaturile maxime și minime, în timp ce E-OBS prezintă o distribuție mai apropiată față de valorile șirului de date observat.

Analiza a fost completată prin diagrame Taylor. Rezultatele indică faptul că, în cazul stației Baia Mare, setul ROCADA are cea mai bună corespondență statistică, atât în sezonul rece, cât și în cel cald. În schimb, pentru stația Ocna Șugatag, E-OBS prezintă o potrivire superioară față de celelalte seturi.

5.2. Evaluarea tendințelor pe termen lung al variabilelor climatice temperatură, precipitații și al debitelor cursurilor de apă

5.2.1. Evaluarea dataset-urilor gridate pentru identificarea tendințelor

Subcapitolul se concentrează pe evaluarea seturilor de date climatice gridate (ROCADA, CarpatClim, E-OBS) în vederea identificării tendințelor climatice pe termen lung, utilizând testul Mann-Kendall (MK) și estimatorul de pantă Sen. Rezultatele testului, aplicat pentru temperaturile maxime (Tmax), minime (Tmin) și precipitații (RR), remarcă faptul că în sezonul de iarnă, s-au identificat tendințe semnificative statistic pentru Tmax și Tmin în majoritatea seturilor de date, în special la stația Ocna Șugatag, unde valorile p sunt sub pragul de semnificație ($p < 0.05$), indicând tendințe crescătoare. Pentru RR, în schimb, tendințele sunt mai slabe sau chiar negative, iar semnificația statistică este redusă. În sezonul de vară, s-au observat tendințe clare de creștere a temperaturilor maxime și minime, dar fără tendințe semnificative ale precipitațiilor, pentru niciunul dintre seturile analizate. De remarcat este că setul CarpatClim nu a indicat nicio schimbare semnificativă pentru niciun parametru analizat.

Setul E-OBS, deși mai puțin performant în analiza tendințelor pe termen lung, este superior în captarea valorilor climatice extreme – atât anuale, cât și istorice – fiind, astfel, o sursă excelentă pentru studiul evenimentelor climatice severe. În plus, acoperirea sa extinsă (1950–2022) îl face util pentru analize climatice de lungă durată.

Setul de date gridat ROCADA este cel mai potrivit set de date pentru analiza tendințelor climatice în nord-vestul României, în timp ce E-OBS oferă cea mai bună precizie în analiza valorilor extreme. Ambele pot fi utilizate eficient ca date de intrare în modele agrometeorologice și hidrologice, cu condiția verificării prealabile a concordanței cu datele observaționale, mai ales în regiuni cu topografie complexă.

5.2.2. Analiza statistică a relației temperatură-precipitații-debite

În acest subcapitol, sunt prezentate rezultatele analizelor statistice efectuate pentru a identifica tendințele pe termen lung ale variabilelor climatice (temperatură și precipitații) și ale debitelor cursurilor de apă. Valorile de temperatură și precipitații sunt extrase din seturile de date gridate E-OBS, ceea ce înseamnă că acestea reprezintă valori spațial interpolate și mediate pe bazin, acoperind o arie geografică mai mare. În contrast, debitele cursurilor de apă reprezintă valori punctuale, măsurate la stațiile hidrologice specificate.

Temperatura - Analiza temperaturii medii anuale a fost realizată pentru cele patru stații: Moisei, Săcel, Vadu Izei și Bistra și arată o tendință de creștere clară și semnificativă statistic în toate cele patru locații, confirmată atât prin testul Sen's Slope (cu valori $p < 0.001$ și intervale de încredere restrânse), cât și prin testul Mann-Kendall, care indică valori pozitive pentru coeficienții z și τ . Regresiile polinomiale oferă o potrivire mai bună decât cele liniare, sugerând o evoluție climatică complexă și neliniară.

Precipitații - Pentru precipitații, testul Sen relevă lipsa unei tendințe semnificative, iar testul Mann-Kendall indică slabe tendințe negative, sugerând o ușoară scădere pe termen lung. Coeficienții negativi din regresiile liniare și valorile reduse ale R^2 – atât în regresiile liniare cât și polinomiale – confirmă o variabilitate ridicată a precipitațiilor și o tendință slab conturată.

Debit - Debitele sunt măsurate punctual, la stațiile hidrometrice, reprezentând valorile caracteristice unui bazin, ceea ce poate explica unele diferențe față de valorile rezultate ale parametrilor climatici temperatură și precipitații prezentați mai sus.

Debitele măsurate la stațiile hidrometrice reflectă o evoluție diferită în sensul în care testul de pantă *Sen* indică o creștere semnificativă a debitelor medii anuale în Moisei și Bistra, cu valori p foarte mici și intervale de încredere care nu includ 0. La Vadu Izei, tendința este la limita semnificației ($p = 0.049$). Testul Mann-Kendall confirmă aceste rezultate, cu valori z și τ pozitive, cele mai pronunțate fiind în Moisei și Bistra. Modelele polinomiale explică mai bine variația debitelor decât cele liniare, indicând că evoluția hidrologică este influențată de mai mulți factori și nu urmează o dinamică strict liniară.

Au fost totodată prezentate în cadrul tezei, graficele evoluției pe termen lung a temperaturii medii anuale, precipitațiilor anuale și debitelor medii anuale pentru patru locații: Moisei, Săcel, Vadu Izei și Bistra. Aceste grafice sunt în concordanță cu valorile analizate statistic și descrise tabelar în subcapitolele anterioare.

Analiza detaliată a fiecărei categorii evidențiază: Temperaturile arată o creștere clară și constantă în toate locațiile, cu regresii polinomiale ce se potrivesc mai bine datelor. Precipitațiile prezintă fluctuații anuale semnificative și o tendință descrescătoare slabă, greu de interpretat fără context suplimentar. Debitele prezintă o tendință extrem de mică de creștere, în special în Moisei și Bistra.

5.3. Evaluarea abaterilor pe termen lung ale debitelor

Acest capitol prezintă rezultatele analizei impactului schimbărilor climatice asupra debitelor din Depresiunea Maramureș, pornind de la premisa că modificările climatice pot influența semnificativ regimul hidrologic al regiunii, atât în termeni de volum, cât și de distribuție sezonieră a scurgerii. Evaluarea a fost realizată prin analiza abaterilor sezoniere ale debitelor modelate față de o perioadă climatică de referință (1971–2000), conform metodologiei descrise în subcapitolul 4.2.7 *Analiza abaterilor pe termen lung ale debitelor*.

Analiza s-a bazat pe trei intervale de proiecție: 2011–2040, 2041–2070 și 2071–2100, în cadrul a trei scenarii climatice RCP (2.6, 4.5 și 8.5), care reflectă niveluri diferite ale emisiilor de gaze cu efect de seră prevăzute de IPCC. Scopul acestei abordări este de a surprinde posibilele evoluții ale regimului hidrologic pe termen scurt, mediu și lung.

5.3.1. Analiza schimbărilor estimate la scară sezonieră

Analiza a utilizat abaterile debitelor medii față de o perioadă de referință, diferențiate pe anotimpuri, în funcție de scenariile climatice RCP 2.6 (optimist), RCP 4.5 (moderat) și RCP 8.5 (pesimist).

Sezonul de iarnă (Fig. 15) se caracterizează prin creșteri generale ale debitelor în toate scenariile, explicate prin intensificarea precipitațiilor lichide și topirea mai rapidă a zăpezii. Cele mai mari creșteri apar în RCP 8.5, atingând 69% în ultima perioadă analizată (2071–2100), sugerând un risc crescut de inundații. RCP 2.6, deși optimist, prezintă o evoluție oscilantă, iar RCP 4.5 indică o tendință progresivă de creștere a debitelor.

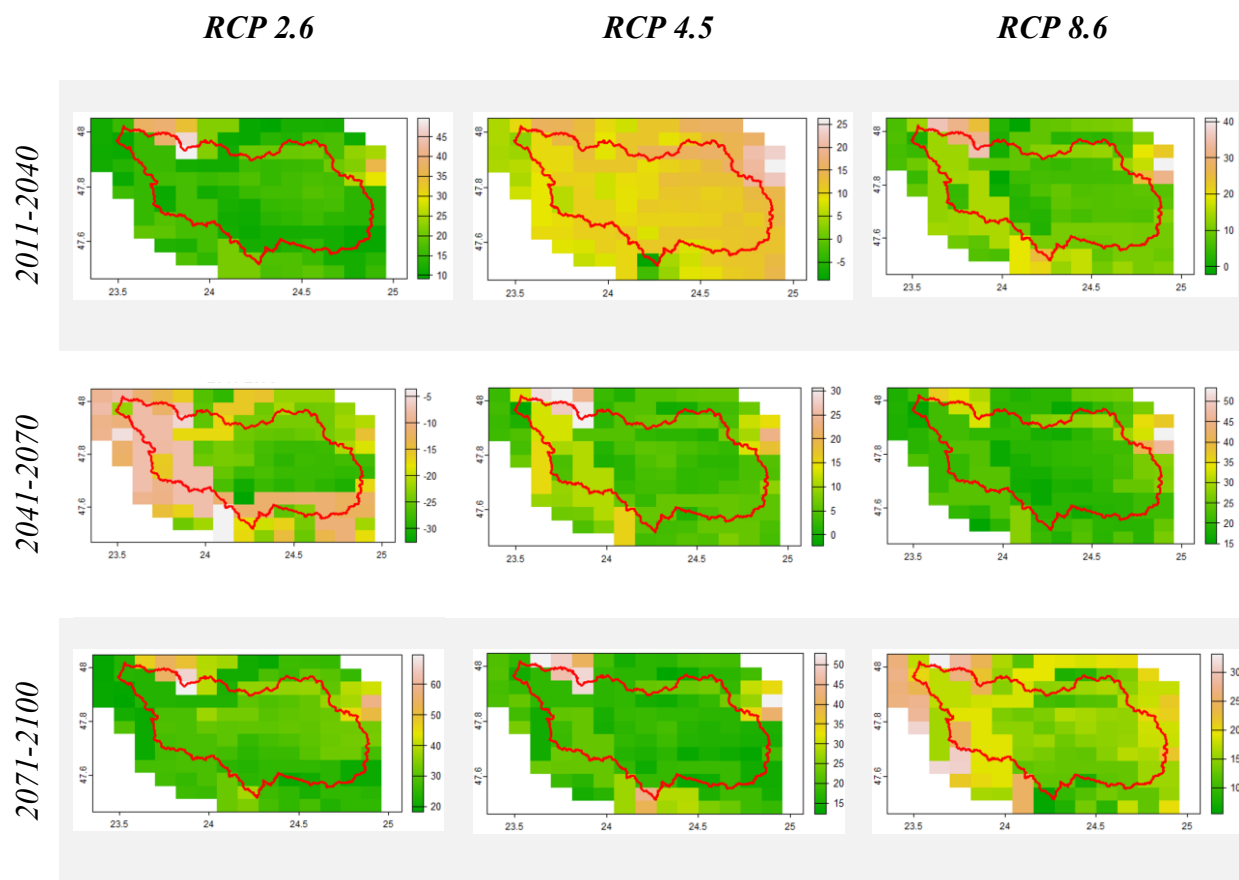
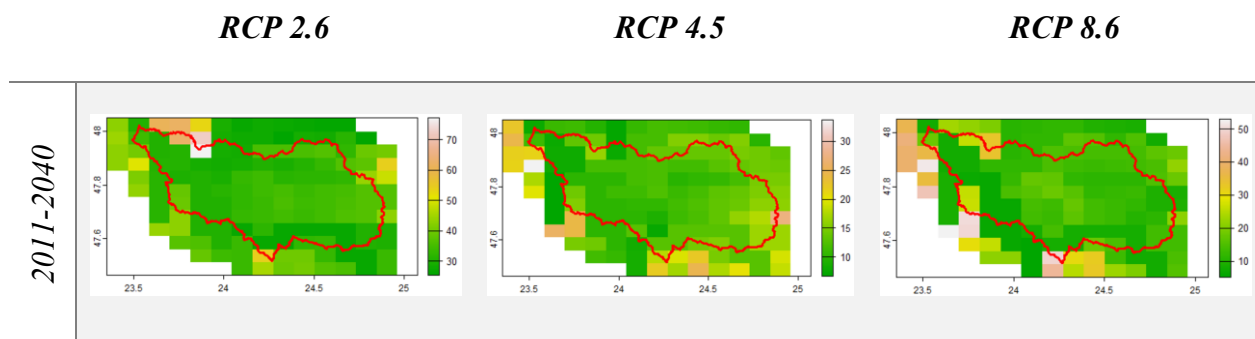


Figura 15. Valorile sezoniere ale abaterilor valorilor de debite medii - Sezonul iarnă

Sezonul de primăvară (Fig. 16) păstrează abateri pozitive ridicate, în special în RCP 8.5, unde se ating valori de până la 60,9%. Regimul hidrologic este marcat de topirea rapidă a zăpezilor și precipitații mai frecvente, cu riscuri crescute de viituri. Scăderile din perioada 2041–2070, în special în RCP 2.6 și RCP 4.5, reflectă o topire timpurie a zăpezilor și reducerea aportului primăvărat, în special în zonele montane. Totuși, valorile cresc din nou în ultimele decade ale secolului..



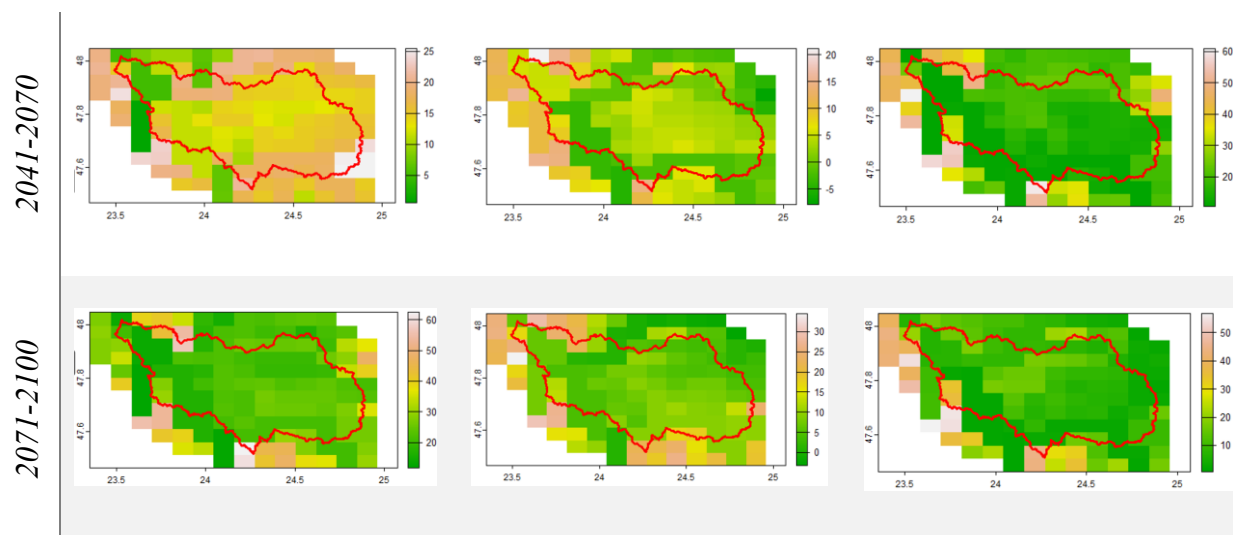
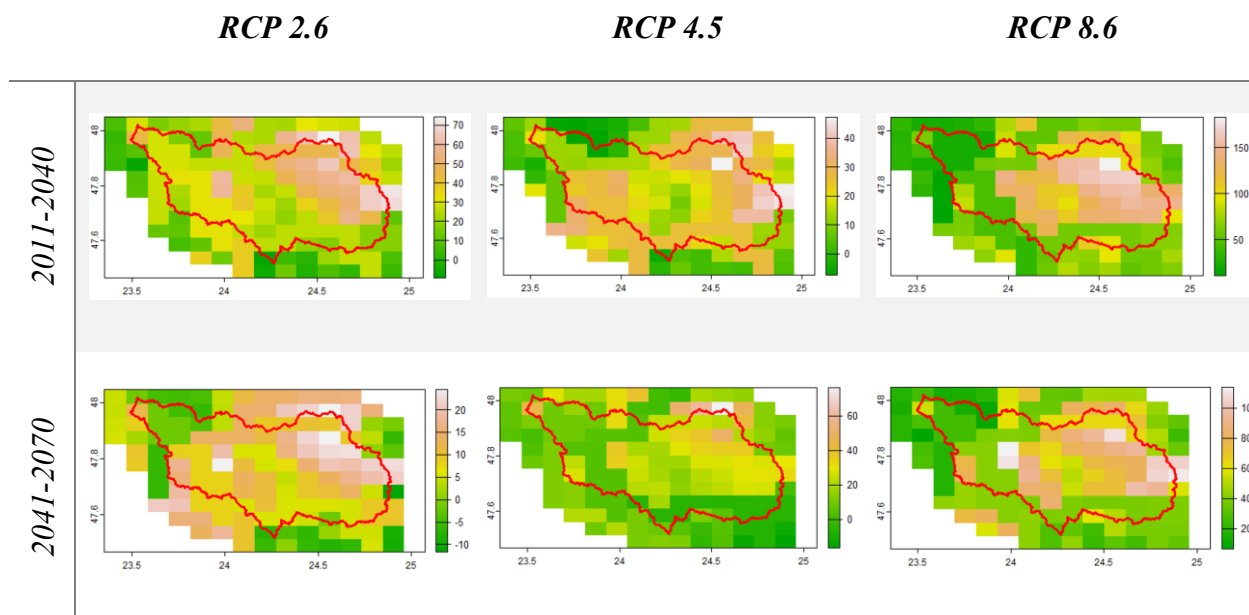


Figura 16. Valorile sezoniere ale abaterilor debitelor medii de apă - Sezonul primăvară

Sezonul de vară (Fig. 22) este sezonul cu cea mai mare variabilitate hidrologică. RCP 8.5 evidențiază abateri extreme (până la +182% în 2011–2040), cu ploi torențiale și risc major de inundații rapide, dar și secete severe în zonele joase. RCP 2.6 și RCP 4.5 indică alternanțe între secete și episoade cu precipitații intense, însă cu o amplitudine mai redusă. Bazinele montane sunt cele mai expuse la viituri, în timp ce regiunile depresionare la deficit de apă.



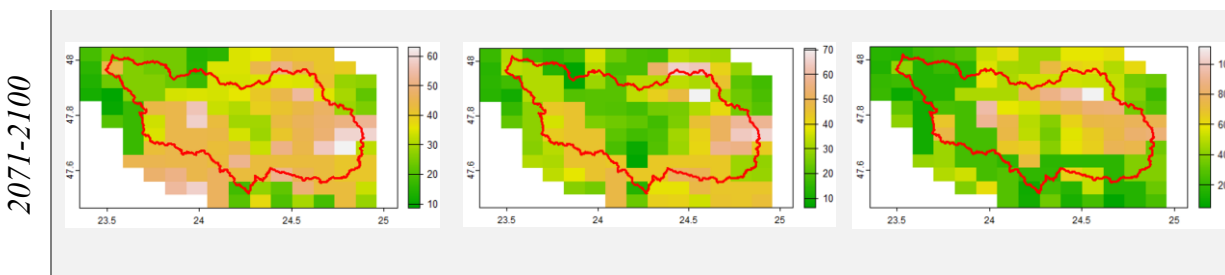


Figura 17. Valorile sezoniere ale abaterilor debitelor medii de apă - Sezonul de vară

Sezonul de toamnă (Fig. 23) reflectă o tranziție instabilă între anotimpurile calde și cele reci. RCP 2.6 prezintă un model oscilant – cu creșteri inițiale ale debitelor, urmate de o scădere drastică (–54,8%) și o revenire ulterioară. RCP 4.5 menține abateri pozitive moderate până în 2100, sugerând toamne mai umede. RCP 8.5 semnalează inițial un regim umed (+35–50%), dar ulterior (2071–2100) o scădere semnificativă (–36,6%), indicând riscuri ridicate de secetă post-estivală.

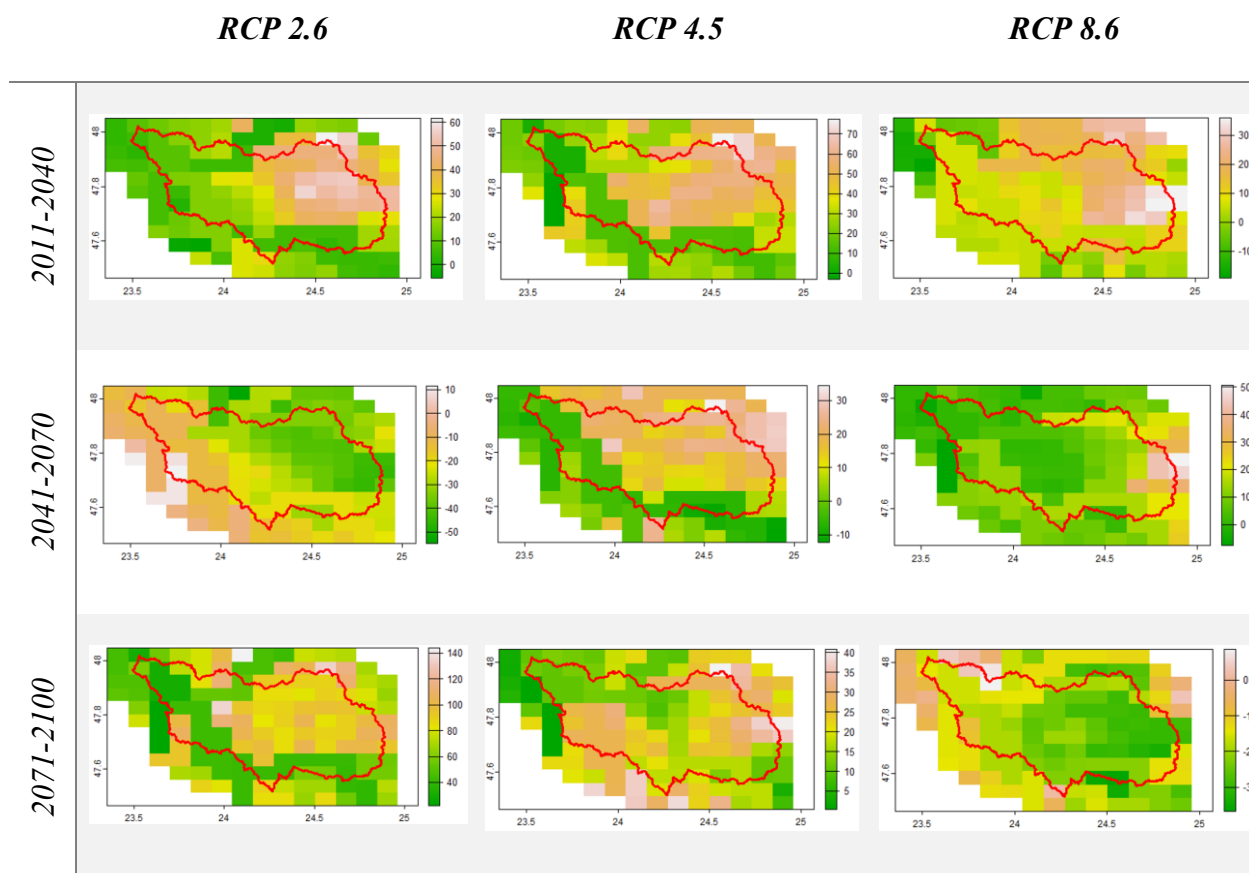


Figura 18. Valorile sezoniere ale abaterilor debitelor medii de apă - Sezonul de toamnă

Rezultatele arată o influență puternic sezonieră și diferențiată a schimbărilor climatice asupra regimului hidrologic, cu impacturi majore asupra riscurilor de inundații și secetă. Variabilitatea

este mai accentuată în scenariile RCP 8.5, în timp ce RCP 2.6, deși mai stabil, nu elimină complet riscurile.

5.3.2. Analiza combinate pe cele trei scenarii

5.3.3. *Scenariul RCP 2.6* (optimist) indică o stabilitate relativă a debitelor pe termen lung în Depresiunea Maramureș, cu fluctuații moderate în special primăvara și vara (2041–2070), caracterizate prin o ușoară reducere a debitelor. Debitele își revin treptat în perioada 2071–2100, sugerând o posibilă stabilizare a resurselor de apă.

5.3.4. *Scenariul RCP 4.5* arată variabilitate mai mare a debitelor, cu creșteri în 2011–2040, urmate de scăderi notabile în 2041–2070, mai ales iarna și vara. În perioada 2071–2100 se observă o revenire moderată, dar cu riscuri persistente pentru evenimente extreme.

5.3.5. *Scenariul RCP 8.5* (pesimist) indică variabilitate extremă și intensificarea fenomenelor climatice extreme. În 2011–2040, debitele cresc considerabil în primăvară și vară, urmate de scăderi semnificative spre 2071–2100, în special toamna și vara, indicând un risc crescut de secetă și disponibilitate redusă a apei.

5.3.6. Comparativ, scenariul RCP 2.6 oferă stabilitate și premise pentru o gestionare eficientă a resurselor de apă, în timp ce RCP 4.5 și RCP 8.5 aduc incertitudine și riscuri majore legate de secetă și inundații, în special în anotimpurile calde. Aceste schimbări pot afecta agricultura, ecosistemele și gestionarea apei, fiind necesare măsuri de adaptare în regiunile vulnerabile.

5.4. Proiecții hidrologice bazate pe scenarii climatice: Analiza impactului prin scenarii de proiecție până în 2100

Utilizând metodologia descrisă în subcapitolul ”4.2.8. Modelarea hidrologică”, au fost simulate și analizate modificările anticipate ale regimului hidrologic până în anul 2100. Această analiză s-a bazat pe scenarii climatice derivate din modelele globale de circulație (GCM) și aplicate modelului hidrologic conceptual NAM dezvoltat de Danish Hydraulic Institutul (DHI).

Scenariile climatice folosite în acest studiu: *GFDL CM2.0 SRES B1*, *HadCM3 SRES B1* și *HadGEM1 SRES A1B*, reflectă diverse traiectorii de emisii de gaze cu efect de seră, oferind posibilitatea de a estima potențialul impact al schimbărilor climatice asupra regimului de scurgere al apelor în bazinele hidrografice din arealul studiat.

Subcapitolul prezintă rezultatele proiecțiilor hidrologice, organizate pe anotimpuri și scenarii climatice, și prezintă impactul specific al schimbărilor climatice până în 2100 asupra debitelor cursurilor de apă.

Spre deosebire de modelul prezentat în capitolul ”5.3 *Evaluarea abaterilor pe termen lung ale debitelor*”, care utilizează surse de date din seturile de date gridate, modelul descris în acest subcapitol se bazează pe parametri de intrare extrași din datele colectate la stațiile hidrometrice.

5.4.1. Parametri inițiali ai modelului NAM

Valorile acestor parametri inițiali utilizați în procesul de calibrare, sunt prezentați în tabelul 19 și 20. Acești parametri sunt împărțiți în trei categorii principale: parametri suprafeței și zonei rădăcinilor, parametri apei subterane și parametri condițiilor inițiale.

Parametrii suprafeței și zonei rădăcinilor includ:

Umax și Lmax – reprezintă capacitatea maximă de stocare a apei la suprafață și în zona rădăcinilor. Valori ridicate ale Lmax, cum sunt cele pentru RB SH Moisei sau RB SH Strâmtura, indicând o capacitate mare de reținere a apei în sol, reducând scurgerile rapide.

CQOF – coeficientul de curgere a apei de suprafață. Valori ridicate, cum ar fi 0,994 pentru RB SH Vadu Izei (Mara), sugerează o capacitate ridicată la scurgere de suprafață în timpul precipitațiilor intense.

CKIF, CK1, CK2 – controlează infiltrarea și transferul apei din zona de suprafață spre zonele subterane.

TOF și TIF – indică pragurile de umiditate peste care se generează scurgerea de suprafață (TOF) și scurgerea hipodermică (TIF). Valori mari ale TIF, precum cele pentru SH Vișeu de Sus (0,990), indică o retenție crescută a apei în sol înainte de generarea scurgerilor.

Apa subterană:

- TG și CKBF - TG zonă de tranzit al apei prin zona de apă subterană, iar CKBF controlează rata de curgere a apei subterane în râuri. Valorile ridicate ale CKBF pentru anumite bazine (de exemplu, 3894,6 pentru RB SH Moisei) indică o contribuție mai mare a apei subterane la debitul râurilor, mai ales în perioadele secetoase.

- U/U_{max} L/L_{max} - raportul dintre stocarea actuală și capacitatea maximă de stocare oferă informații despre gradul de saturație. Aceste valori permit calibrarea modelului pentru a reflecta saturația din sol.

Condiții inițiale:

- QOF și QIF- debitele de scurgere superficială și intermediară inițiale sunt setate la începutul simulării. Aceste valori sunt necesare pentru simularea corectă a răspunsului bazinelor la precipitații. În cazul nostru, aceste valori inițiale au fost setate la "0".
- BF și BF-low - indică debitele de bază inițiale, care reflectă cantitatea de apă deja existentă în sistem la începutul simulării.
- Zăpadă - cantitatea de zăpadă inițială (în unități de volum de apă) este importantă pentru bazinele situate în zone montane, influențând debitele de primăvară odată cu topirea zăpezilor.

5.4.2. Rezultatele calibrării modelului hidrologic

Înainte de aplicarea scenariilor climatice pentru proiecțiile hidrologice până în anul 2100, a fost necesară o calibrare și validare a modelului hidrologic conceptual NAM, pentru a asigura acuratețea și fiabilitatea simulărilor. Calibrarea s-a bazat pe date istorice de debite, colectate în perioada de referință 2008-2017.

Procesul de calibrare a implicat ajustarea parametrilor modelului NAM, astfel încât să se obțină o potrivire optimă între debitele simulate și cele observate. Parametrii calibrați au inclus coeficienții de infiltrație, percolare, evapotranspirație, constanta de timp pentru scurgerea hipodermică, coeficientul de reîncărcare a acviferului inferior (CQLow), constantele de timp pentru scurgerea la suprafață, precum și parametrii controlați ai rezervoarelor liniare utilizate în modelarea scurgerii și recesiunii debitelor..

Rezultatele calibrării arată o variabilitate a performanței modelului în funcție de fiecare subbazin. De exemplu, subbazinele RB SH Vișeu de Sus și RB SH Moisei prezintă valori ridicate ale coeficienților R^2 și NSE, ceea ce indică o bună potrivire a modelului, în timp ce subbazinele cu altitudini și tipuri de sol diferite, precum RB SH Ruscova și RB SH Dragomirești, prezintă valori mai scăzute ale acestor coeficienți, sugerând o variabilitate ridicată a factorilor hidrologici locali.

Indicatorii statistici utilizați pentru evaluarea performanței modelului au fost:

- *Coeficientul Nash-Sutcliffe (NSE)*: Majoritatea bazinelor analizate au depășit pragul acceptabil de 0,5, ceea ce indică o capacitate a modelului de a reproduce variabilitatea debitelor observate.
- *Coeficientul de determinare (R^2)*: Valoarea medie R^2 aproximativ 0,61 indică o potrivire relativ bună între valorile observate și cele simulate. R^2 măsoară proporția variabilității în datele observate explicată de model, iar o valoare în jurul acestei valori este considerată satisfăcătoare. Cu toate acestea, valorile individuale ale R^2 se situează între 0,44 și 0,76, asta ne arată că modelul are o acuratețe diferită în funcție de subbazin.

Analiza rezultatelor calibrării a relevat că modelul NAM este adecvat pentru simularea regimului hidrologic al bazinului studiat. Valorile ridicate ale NSE și R^2 , indică faptul că modelul reproduce cu fidelitate atât amplitudinea, cât și tendințele debitelor observate. Astfel, modelul NAM a reușit să reproducă în mod adecvat variabilitatea temporală și amplitudinea debitelor observate. Parametrii calibrați au reflectat caracteristicile hidrologice specifice ale bazinelor studiate și au servit drept bază solidă pentru simulările viitoare (DHI, 2017).

Prin urmare, modelul calibrat oferă încredere în proiecțiile hidrologice realizate pentru diferite scenarii climatice și intervale de timp analizate.

5.4.3. Interpretarea comparativă a scenariilor climatice

În continuare sunt prezentate interpretările rezultatelor proiecțiilor hidrologice pentru bazinul studiat, analizând atât abaterile valorilor anuale, cât și cele sezoniere față de un scenariu de bază (baseline). În Figura 19 sunt prezentate grafic abaterile debitelor înregistrate sub fiecare scenariu.

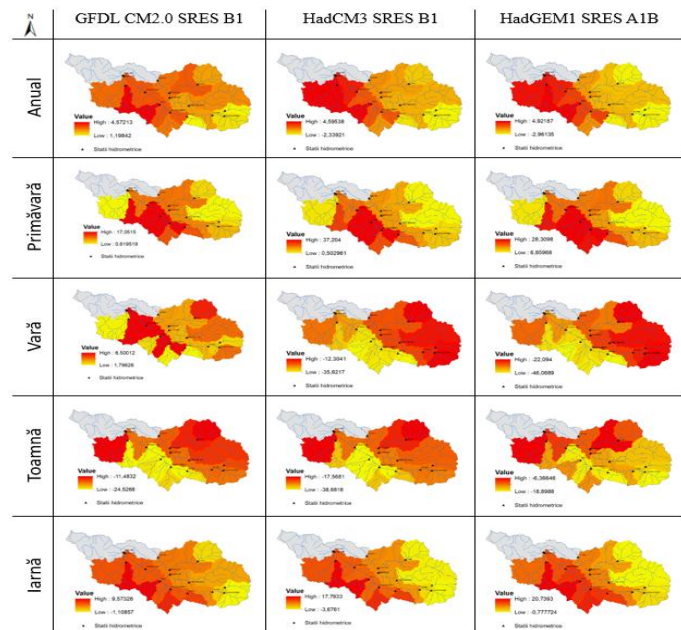


Figura 19. Diferențe dintre scenariile de proiecție hidrologică și scenariul de bază (baseline)

Pentru valorile anuale, se constată următoarele caracteristici:

- *Scenariul GFDL CM2.0 SRES B1*: indică o creștere moderată a debitelor, cu valori între 1.2 și 4.57, concentrate în zonele centrale și sudice ale bazinului. Deși zonele montane sunt afectate, riscurile rămân moderate.
- *Scenariul HadCM3 SRES B1*: Distribuția arată o variabilitate mai accentuată, cu debite între -2.3 și 4.6, creșteri semnificative în nord-est și centru, ceea ce sugerează riscuri potențiale de inundații în zonele de formare a scurgerii.
- *Scenariul HadGEM1 SRES A1B*: Cel mai pesimist scenariu, arată abateri între -2.96 și 4.92, cu cele mai mari debite în centrul și vestul bazinului, semnalând o probabilitate crescută a fenomenelor climatice extreme și a riscurilor hidrologice.

Din perspectiva valorilor sezoniere, se constată următoarele caracteristici:

- *Primăvara*: în toate scenariile, se înregistrează creșteri ale debitelor în toate scenariile, cu maxime de 37.204 în HadCM3 și 28.3098 în HadGEM1. Zonele centrale și sud-estice devin vulnerabile la ploi intense, existând un risc crescut de inundații..
- *Vara*: se conturează ca sezonul cu cel mai mare risc de secetă. Scenariile HadCM3 și HadGEM1 anticipează scăderi accentuate ale debitelor, cu valori minime de -46.068 în scenariul HadGEM1, în special în zona centrală a bazinului..
- *Toamna* continuă tendința de scădere a debitelor, în special în scenariul HadCM3 (până la -38.682), cu zonele centrale și sudice cele mai afectate. Acest sezon reflectă o posibilă secetă prelungită și o presiune crescută asupra resurselor de apă.
- *Iarna* arată o ușoară redresare a debitelor, în special în scenariul HadGEM1, care sugerează ierni mai umede și potențialul de reîncărcare a resurselor de apă în zonele montane. Totuși, această reîncărcare nu compensează pierderile semnificative din timpul verii și toamnei.

5.5. Strategii de adaptare la schimbările climatice din perspectiva resurselor de apă și a regimului hidrologic

Integrarea strategiilor de atenuare a impactului schimbărilor climatice este esențială pentru regiunile montane și depresionare, cum este Depresiunea Maramureș, unde formarea scurgerii în zonele montane contribuie la stabilitatea regimului hidrologic, în special în perioade de precipitații intense și topirea zăpezii.

Conform proiecțiilor climatice, gestionarea resurselor de apă în această regiune trebuie să fie adaptată la variabilitatea sezonieră și la efectele climatice viitoare. Se subliniază trei direcții principale:

- *Gestionarea riscului de inundații*, în special în anotimpurile rece și de primăvară, conform scenariilor HadGEM1 SRES A1B, prin infrastructură adecvată (diguri, baraje, zone de captare);
- *Adaptarea la secetă*, accentuată vara și toamna, conform scenariilor HadCM3 SRES B1 și HadGEM1 SRES A1B, prin măsuri precum economisirea apei, refacerea apelor subterane și stocarea apei în perioadele de surplus;
- *Protecția zonei montane*, cu accent pe reîmpădurire și conservare, pentru reducerea eroziunii și stabilizarea scurgerii apei.

Analiza datelor istorice și a proiecțiilor climatice (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5) evidențiază riscul unei combinații între secetă și viituri rapide în scenariile moderat și pesimist, în special în bazinele montane mici. Această variabilitate extremă necesită soluții care să asigure debite minime în perioadele secetoase și protecție împotriva viiturilor bruște.

O măsură eficientă este *extinderea sau refacerea suprafețelor împădurite*, în special în zonele de formare ale scurgerilor. Pădurile contribuie la reglarea scurgerii, reducând viteza apei, crescând retenția solului, reducând vârfurile de viitură și prevenind eroziunea. În perioadele secetoase, pădurile contribuie la menținerea umidității solului și a debitelor minime.

Prin urmare, strategiile de împădurire oferă beneficii duble: reducerea riscului de inundații și stabilizarea debitelor în perioadele secetoase. Lucrarea propune un studiu de caz în Depresiunea Maramureș pentru a analiza impactul acestor măsuri asupra regimului hidrologic, cu potențial de a furniza o metodologie aplicabilă decidenților și autorităților locale.

5.5.1. Recomandări pentru adaptarea la schimbările anticipate în regimul de scurgere

Rezultatele analizelor evidențiază impactul semnificativ al schimbărilor climatice asupra regimului de scurgere al apelor în bazinele hidrografice din arealul studiat. Aceste schimbări afectează atât disponibilitatea resurselor de apă, cât și vulnerabilitatea ecosistemelor și a comunităților locale. În acest context, adaptarea reprezintă o componentă importantă pentru gestionarea impactului schimbărilor climatice și pentru asigurarea unei utilizări sustenabile a resurselor de apă (FAO, 2016).

Capitolul propune o serie de recomandări practice și strategice, fundamentate pe proiecțiile hidrologice realizate în acest studiu. Acestea sunt structurate în trei categorii majore: structurale, non-structurale și verzi (ecologice).

5.6. Evaluarea impactului hidrologic al schimbării suprafețelor împădurite: un studiu de caz bazat pe teledetecție

5.6.1. Delimitarea zonelor acoperite de pădure utilizând indicele FCD

În conformitate cu metodologia descrisă în capitolul de metode, valorile indicelui FCD pentru anii analizați sunt prezentate în Figura 20.

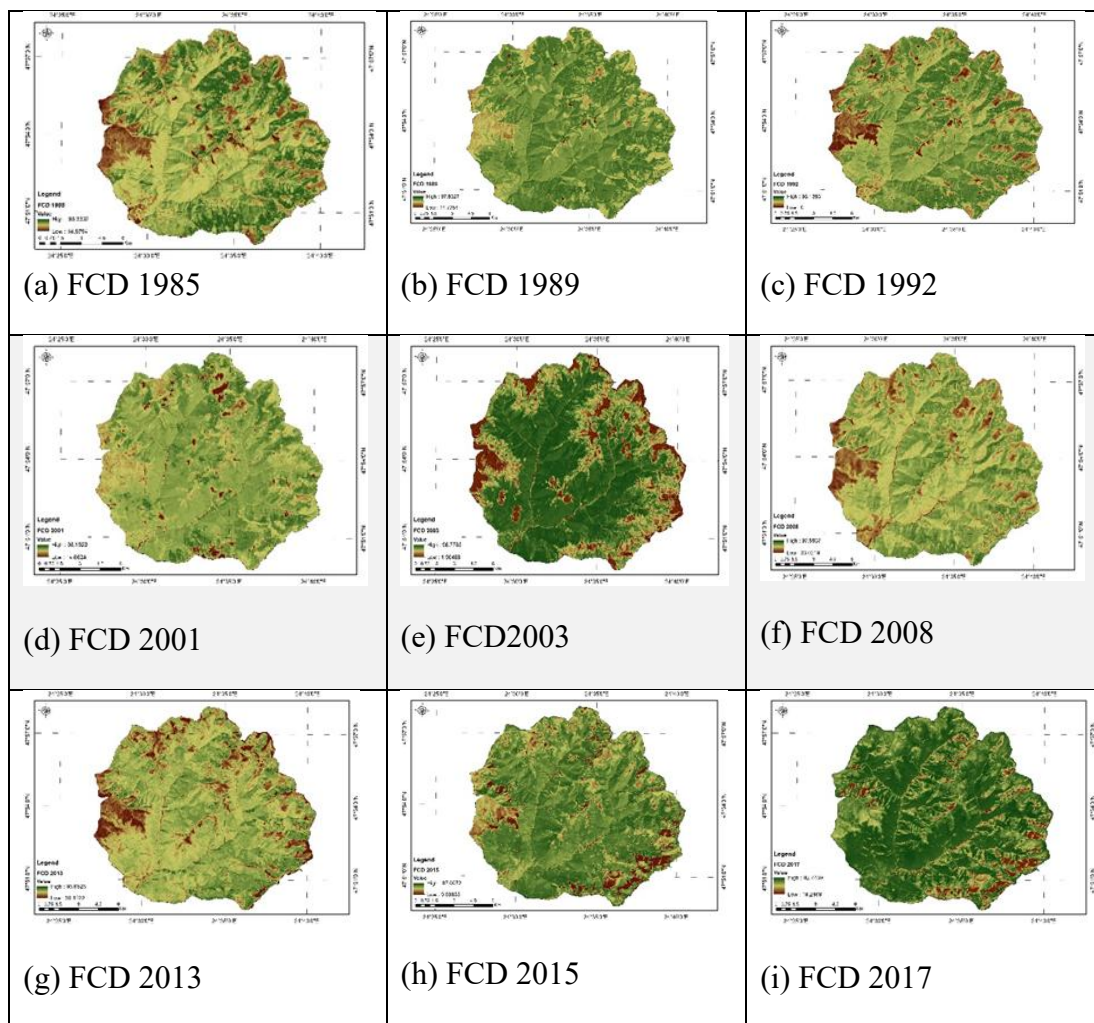


Figura 20. Indicele FCD extras din imaginile satelitare (Sidau și colab, 2021)

Evaluarea acurateții metodei de determinare a indicelui FCD a evidențiat discrepanțe între hărțile satelitare și imaginile ortofoto din 2018, în special pentru anii 1985 și 2015. Valoarea scăzută a coeficientului kappa pentru 1985 reflectă o suprafață împădurită mai mare în trecut, în timp ce pentru 2015, diferențele indică o posibilă subestimare a suprafețelor împădurite în imaginile satelitare comparativ cu ortofotoplanurile recente.

5.6.2. Impactul modificărilor în suprafețele împădurite asupra vârfurilor de viitură

Au fost folosite trei scenarii pentru a evalua impactul vegetației forestiere asupra scurgeri râurilor:

Modificarea valorilor suprafețelor împădurite, conform S2 și S3, determină schimbări ale valorilor CN medii. Aceasta modificare a valorilor medii ale CN, conduce la modificări ale volumului și debitului estimat.

Rezultatele simulărilor pentru cele 3 scenarii sunt prezentate în Figura 21 și Tabelul 8. Odată ce modelul este setat și calibrat, în conformitate cu metodologia descrisă în secțiunea 2, hidrograful de debite este analizat pentru fiecare eveniment selectat (Figura 27).

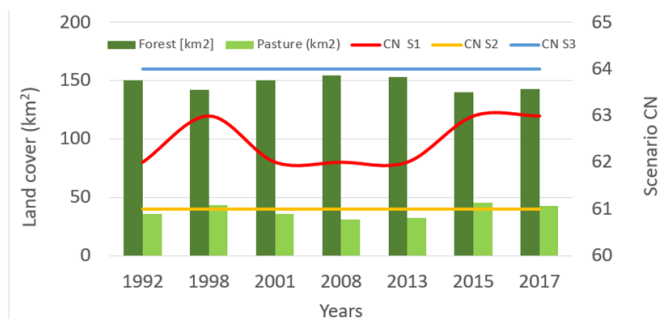


Figura 21. Valorile CN luate în considerare pentru calibrarea modelului. (Sidau și colab, 2021)

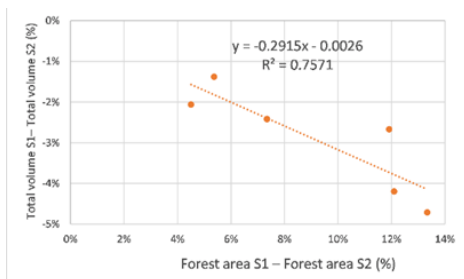
Tabel 8. Rezultatul simulărilor pe cele 3 scenarii. (Sidau și colab, 2021)

Scenariu	Perioada eveniment	Volum total simulat [10 ⁶ m ³]	Volum total observat [10 ⁶ m ³]	Diferență Volum Observat-Simulat (%)	Q Max [m ³ /s] Simulat	Q Max [m ³ /s] Observat	Diferență Q Observat (S1) -Simulat (%)	Diferență Q-Comparat cu S1
S1	04.09.1992–10.09.1992	4.873	5.623	13.35%	14.245	18.6		
S2		4.758	5.623	15.39%	13.851	18.6	25.53%	-2.84%
S3		5.112	5.623	9.10%	15.070	18.6	18.97%	8.09%
S1		12.16	11.544	-5.35%	40.710	31.7		

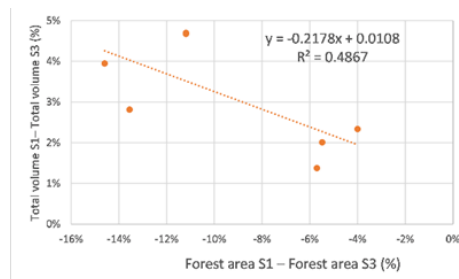
S2	04.07.1998– 10.07.1998	11.672	11.544	-1.11%	39.018	31.7	-23.09%	-4.34%
S3		12.411	11.544	-7.51%	41.567	31.7	-31.13%	6.13%
S1	17.06.2001– 23.06.2001	4.182	4.637	9.81%	14.334	14.8		
S2		4.083	4.637	11.94%	13.958	14.8	5.69%	-2.70%
S3		4.388	4.637	5.36%	15.119	14.8	-2.16%	7.68%
S1	21.07.2008– 29.07.2008	13.598	16.271	16.43%	44.685	57.6		-
S2		13.324	16.271	18.11%	43.923	57.6	23.74%	-1.74%
S3		14.157	16.271	12.99%	46.205	57.6	19.78%	3.29%
S1	10.09.2013– 15.09.2013	1.227	1.176	-4.30%	5.194	3.78		
S2		1.210	1.176	-2.88%	5.079	3.78	-34.39%	-2.25%
S3		1.262	1.176	-7.32%	5.437	3.78	-43.84%	6.57%
S1	24.06.2015– 27.06.2015	1.173	1.272	7.76%	7.507	6.24		
S2		1.121	1.272	11.91%	7.131	6.24	-14.28%	-5.28%
S3		1.201	1.272	5.55%	7.706	6.24	-23.51%	7.47%
S1	24.07.2017– 27.07.2017	0.647	1.256	48.49%	4.490	5.659		
S2		0.630	1.256	49.83%	4.295	5.659	24.10%	-4.53%
S3		0.656	1.256	47.77%	4.594	5.659	18.82%	6.51%

Rezultatele simulărilor pe cele 3 scenarii arată o influență importantă a pădurii asupra reducerii vârfurilor de viitură, până la un procent destul de însemnat din volumul scurs în perioada viiturilor. Chiar dacă diferențele dintre valorile de suprafețe de pădure pentru ani diferiți pe de-o parte și valorile S2 și S3 pe de altă parte, nu sunt foarte mari, o influență exercitată de suprafețele împădurite asupra vârfurilor de viitură este vizibilă, variind între -5,28% (S2) și 8,09 % (S3) (tabelul 8).

Ponderea acestei influențe poate fi analizată și prin graficul de corelație realizat pe baza diferențelor de suprafață ale celor trei scenarii, cu volumele de scurgere cumulate pe fiecare scenariu: suprafața forestieră S1 – suprafața forestieră S2 comparativ cu volumul total S1 – volumul total S2 (Figura 22a); suprafața forestieră S1 – suprafața forestieră S3 comparativ cu volumul total S1 – volumul total S3 (Figura 22b);



(a) S1 comparativ cu S2



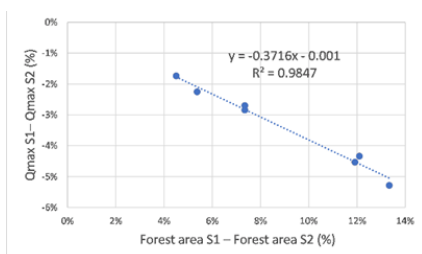
(b) S1 comparativ cu S3

Figura 22. Analiza comparativă a volumului total de apă scurs în timpul evenimentelor și a diferențelor suprafețelor împădurite, între scenariile S1 cu S2 și S3. (Sidau și colab, 2021)

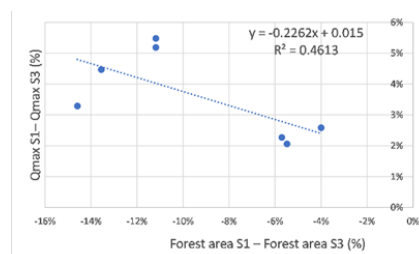
Răspunsul bazinului la creșterea suprafeței împădurite, a fost reducerea volumelor totale de apă scursă pentru evenimentul selectat (Figura 22a). În caz de descreștere a suprafeței împădurite (scenariul S3), scurgerea totală a crescut în timpul evenimentului analizat (Figura 22b).

O situație similară a fost detectată atunci când analiza comparativă a fost efectuată pentru analiza debitului maxim al evenimentelor luate în considerare. În acest caz, analizele au fost făcute luând în considerare următoarele diferențe:

- Diferența dintre suprafața forestieră S1 și suprafața forestieră S2 a fost comparată cu diferența dintre debitul maxim S1 și debitul maxim S2 (Figura 23a);
- Diferența dintre suprafața forestieră S1 și suprafața forestieră S3 a fost comparată cu diferența dintre debitul maxim S1 și debitul maxim S3 (Figura 23b);



(a) S1 comparativ cu S2



(b) S1 comparativ cu S3

Figura 23. Analiza comparativă a debitului maxim înregistrat în timpul evenimentelor și a diferențelor suprafețelor împădurite, între scenariile S1 cu S2 și S3. (Sidau și colab, 2021)

Se poate remarca o tendință negativă în toate graficele prezentate, respectiv o creștere a suprafeței împădurite corespunde unei scăderi a debitului maxim și invers (Fig. 22 și 23). În plus, indicele de corelație Pearson R2 în ambele figuri 23a și 23a (adică relația dintre S1 și S2) a indicat

o corelație mai puternică în comparație cu relațiile S1-S3 (Figurile 22b și 23b). Având în vedere direcția similară pentru ambele tipuri de relații S1-S2 și S1-S3, indiferent dacă este vorba despre volum sau debite, pentru stabilirea relației între suprafața pădurii și debit, se poate alege ecuația de regresie liniară al celei mai bune corelații. Indicele de corelație prezentat în Figura 23a, are cea mai mare valoare, astfel îl putem folosi ca ecuație în estimarea ponderii influenței pădurii asupra scurgerii:

$$y = -0.3716x - 0.001$$

Unde:

y-este procentul estimat al debitului maxim;

x-este procentul suprafeței împădurite raportat la valoarea de referință S1;

0,3717-este panta liniei de regresie;

-0.001-este valoarea de intersecție cu axa Y.

Analiza evidențiază câteva limitări metodologice, precum utilizarea imaginilor satelitare cu rezoluție redusă (30 m) pentru estimarea suprafeței împădurite și a datelor climatice zilnice cu rezoluție spațială de 0,1°, neadecvate pentru bazine mici. Deși validarea s-a realizat cu ortofotoplanuri de înaltă rezoluție, acuratețea estimărilor ar putea fi îmbunătățită cu date mai detaliate. Totuși, studiul demonstrează clar rolul pădurilor în reducerea viiturilor și stabilizarea regimului hidrologic, susținând eficiența reîmpăduririi ca alternativă durabilă la măsurile structurale clasice. Începând cu 2003, politicile forestiere și monitorizarea digitală au dus la creșterea suprafeței împădurite, iar indicele FCD din imaginile Landsat s-a dovedit util în absența unor baze de date oficiale. Rezultatele au permis formularea unei ecuații care cuantifică influența pădurii asupra debitului maxim, oferind un instrument valoros pentru planificarea măsurilor de protecție împotriva inundațiilor.

6. Concluzii

Studiul de față a avut ca obiectiv principal evaluarea impactului schimbărilor climatice și al modificărilor de utilizare a terenului asupra regimului hidrologic în Depresiunea Maramureș. Prin analiza variabilelor climatice (temperatură și precipitații), a evoluției pe termen lung ale debitelor, a proiecțiilor hidrologice bazate pe diferite scenarii, s-au obținut informații valoroase privind modul în care aceste elemente interacționează și influențează resursele de apă ale regiunii.

Analiza variabilelor climatice a evidențiat o creștere semnificativă și constantă a temperaturilor medii anuale în toate locațiile studiate (Moisei, Săcel, Vadu Izei și Bistra). Testele statistice aplicate, precum Sen's Slope și testul Mann-Kendall, au confirmat tendința ascendentă a temperaturilor, cu valori p foarte mici, indicând o semnificație statistică puternică. Această creștere a temperaturilor este în concordanță cu tendințele globale ale încălzirii climatice și sugerează schimbări climatice evidente în zonă.

În contrast cu temperatura, precipitațiile nu au prezentat o tendință clară de creștere sau scădere semnificativă din punct de vedere statistic. Testul Sen's Slope a indicat pante de zero în toate locațiile, sugerând o stabilitate relativă a cantității anuale de precipitații. Totuși, testul Mann-Kendall a evidențiat o ușoară tendință descrescătoare în unele locații, indicând posibile scăderi graduale ale precipitațiilor pe termen lung.

Analiza debitelor a arătat o creștere semnificativă în majoritatea locațiilor studiate. Testele statistice au confirmat tendințe ascendente ale debitelor, în special în Moisei și Bistra, unde s-au înregistrat cele mai semnificative creșteri. Această creștere a debitelor poate fi asociată cu creșterea temperaturilor, care influențează procese precum topirea zăpezilor și evaporarea, modificând astfel regimul hidrologic.

Utilizând outputurile **modelelor climatice și hidrologice** s-a analizat situația până în anul 2100 pentru diferite scenarii de emisii (RCP 2.6, RCP 4.5 și RCP 8.5). Rezultatele au evidențiat:

- RCP 2.6 (scenariu optimist): Debitele arată o stabilitate relativă, cu fluctuații moderate. Totuși, există perioade, precum 2041-2070, unde se manifestă o ușoară reducere a debitelor, posibil datorită scăderii precipitațiilor sau creșterii evaporării.
- RCP 4.5 (scenariu intermediar): Se observă o variabilitate mai mare a debitelor, cu creșteri în unele sezoane și scăderi în altele. Riscul de secetă în anumite anotimpuri și de inundații în altele devine mai pronunțat.
- RCP 8.5 (scenariu pesimist): Se anticipează o intensificare a fenomenelor extreme, cu creșteri semnificative ale debitelor în unele sezoane și scăderi drastice în altele. Acest scenariu sugerează un risc crescut de inundații și secete severe, afectând resursele de apă și ecosistemele.

Modelarea hidrologică pe baza scenariilor climatice proiectate până în anul 2100 a evidențiat potențialele schimbări în regimul hidrologic al bazinelor studiate, indicând o variabilitate sezonieră crescută și riscuri asociate de inundații și secetă.

În scenariul cu risc crescut (ex. HadGEM1 SRES A1B), primăvara și iarna sunt sezoane critice pentru inundații, necesitând infrastructură de protecție precum diguri și zonă de captare.

Vara și toamna sunt sezoanele critice pentru secetă, ceea ce impune măsuri de economisire și stocare a apei, refacerea resurselor de apă subterană și planificarea eficientă a utilizării apei.

Zonelor montane sunt extrem de importante pentru menținerea echilibrului hidrologic. Reîmpădurirea și conservarea lor vor contribui la stabilizarea fluxurilor de apă și reducerea riscului de eroziune în perioadele critice.

Referitor la impactul schimbărilor suprafețelor împădurite Studiul a evidențiat că modificările în suprafețele împădurite au un impact semnificativ asupra regimului hidrologic:

- Creșterea suprafețelor împădurite: Conduce la o reducere a volumului total de apă scursă și a debitelor maxime în timpul viiturilor. Pădurile acționează ca un tampon, absorbând și reținând apa, crescând coeficientul de rugozitate cu efect asupra vitezei de curgere al apei, reducând astfel riscul inundațiilor.
- Scăderea suprafețelor împădurite: Determină o creștere a volumului de apă scursă și a debitelor maxime, amplificând riscul de inundații și eroziune a solului.

Utilizarea teledetecției pentru monitorizarea suprafețelor împădurite s-a dovedit a fi eficientă, permițând o evaluare rapidă și precisă a schimbărilor de utilizare a terenului.

Rezultatele acestui studiu au implicații semnificative pentru gestionarea resurselor de apă în Depresiunea Maramureș:

- Necesitatea adaptării strategice: Creșterea temperaturilor și variabilitatea debitelor impun dezvoltarea unor strategii de adaptare în gestionarea apelor, pentru a face față atât surplusurilor, cât și deficitelor de apă.
- Importanța conservării și extinderii pădurilor: Pădurile joacă un rol important în atenuarea vârfurilor de viitură și în menținerea echilibrului hidrologic. Promovarea reîmpăduririlor și

prevenirea defrișărilor ilegale sunt metode utile pentru prevenirea inundațiilor, sau reducerea vârfulor de viitură.

- Planificare integrată: Este necesară o abordare holistică, care să integreze managementul apei, al terenurilor și al ecosistemelor, pentru a reduce vulnerabilitatea la schimbările climatice.

Bibliografie

1. Administrația Națională "Apele Române". (2005). Ordinul nr. 1276 din 14 decembrie 2005 privind aprobarea "Metodologiei de organizare, păstrare și gestionare a Cadastrului apelor din România". Disponibil la: <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliiDocumentAfis/67640>
2. Administrația Națională de Meteorologie. (2008). *Clima României*. Editura Academiei Române.
3. ARNELL, N. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31–S49. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(99\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00017-5)
4. Arnell, N. W. (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 31–52. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006>
5. Arnell, N. W., & Gosling, S. N. (2013). The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. *Journal of Hydrology*, 486, 351–364. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.010>
6. Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper VI. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
7. Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P. J., Smith, H. G., & Lindborg, R. (2019). Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
8. Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., & Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81(S1), 71–95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>
9. Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119951001>
10. Birsan, M.-V. (2017). *Variabilitatea regimului natural al râurilor din România*. Editura ARS DOCENDI. https://www.researchgate.net/publication/318986963_Variabilitatea_regimului_natural_al_raurilor_din_Romania
11. Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Frolova, N., Ganora, D., ... Živković, N.

- (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
12. Boehm, S., Jeffery, L., Hecke, J., Schumer, C., Jaeger, J., Fyson, C., Levin, K., Nilsson, A., Naimoli, S., Daly, E., Thwaites, J., Lebling, K., Waite, R., Collis, J., Sims, M., Singh, N., Grier, E., Lamb, W., Castellanos, S., ... Masterson, M. (2023). State of Climate Action 2023. In *World Resources Institute*. <https://doi.org/10.46830/wrirpt.23.00010>
 13. Bojariu, R., Birsan, M.-V., Cică, R., Velea, L., Burcea, S., Dumitrescu, A., Dascălu, S. I., Gothard, M., Dobrinescu, A., Cărbunaru, F., & Marin, L. (2015). *Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare* (Administrația Națională de Meteorologie, Ed.). Editura Printech.
 14. Buckley, B. M., Anchukaitis, K. J., Penny, D., Fletcher, R., Cook, E. R., Sano, M., Nam, L. C., Wichienkeeo, A., Minh, T. T., & Hong, T. M. (2010). Climate as a contributing factor in the demise of Angkor, Cambodia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(15), 6748–6752. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910827107>
 15. Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
 16. Chendeș, Viorel (2011). *Resursele de Apă Din Subcarpații de la Curbură. Evaluări Geospațiale*. Academia Română.
 17. Chendeș Viorel, Corbus, C., Bojariu, R., Borcan, M., Matreata, M., & Matreata, M. (2024). Scenarii privind schimbările climatice și impactul asupra resurselor de apă. *Hidrotehnica*, 69, 41–52.
 18. Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
 19. Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T. J., Jones, C. D., Liddicoat, S., Gill M. Martin, O'Connor, F. M., Rae, J. G. L., Senior, C. A., Totterdell, I. J., Woodward, S., & Reichler, T. (2008). *Evaluation of the HadGEM 2 model*. https://www.incc.utah.edu/~reichler/publications/papers/Collins_08_MetOffice_74.pdf
 20. Copernicus Climate Data Store. (n.d.). *Copernicus Climate Data Store (CDS)*. Retrieved 1 March 2025, from <https://cds.climate.copernicus.eu/>
 21. Copernicus Climate Change Service. (2023). *Copernicus Climate Change Service*. . <https://climate.copernicus.eu/>
 22. Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., & Jones, P. D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17), 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
 23. Croitoru, A. E., Piticar, A., Sfîcă, L., Roșca, C.-F., Tudose, T., Horvath, C., Minea, I., Ciupertea, A.-F., Scripcă, S., & Harpa, G. V. (2018). *Extreme temperature and precipitation events in Romania*. The Publishing House of the Romanian Academy. https://www.researchgate.net/publication/352226549_Extreme_Temperature_and_Precipitation_Events_in_Romania

24. Croitoru, A.-E., Chiotoroiu, B.-C., Ivanova Todorova, V., & Torică, V. (2013). Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast. *Global and Planetary Change*, 102, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.01.004>
25. Croitoru, A.-E., Drignei, D., Holobaca, I.-H., & Dragota, C. S. (2012). Change-point analysis for serially correlated summit temperatures in the Romanian Carpathians. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1–2), 9–18. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0508-7>
26. Croitoru, A.-E., & Minea, I. (2015). The impact of climate changes on rivers discharge in Eastern Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3–4), 563–573. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1194-z>
27. Cuculeanu, V., Tuinea, P., & Bălțeanu, D. (2002). Climate Change Impacts in Romania: Vulnerability and Adaptation Options. *GeoJournal*, 57(3), 203–209. <https://www.jstor.org/stable/41147721>
28. Daniel S. Wilks. (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03921-6>
29. DHI. (2017). *MIKE SHE User Manual*. Danish Hydraulic Institute.
30. Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, & G. Geoffrey Vining. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (Fourth Edition). Wiley.
31. Drăgoi, M., & Toza, V. (2019). Did Forestland Restitution Facilitate Institutional Amnesia? Some Evidence from Romanian Forest Policy. *Land*, 8(6), 99. <https://doi.org/10.3390/land8060099>
32. Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118625590>
33. Dumitrescu, A., & Birsan, M.-V. (2015). ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Natural Hazards*, 78(2), 1045–1063. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1757-z>
34. Ellison, D., N. Futter, M., & Bishop, K. (2012). On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Global Change Biology*, 18(3), 806–820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02589.x>
35. European Commission. (2013). *An EU Strategy on adaptation to climate change*. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/eu_strategy_en.pdf
36. European Environment Agency (EEA). (2019). *CORINE Land Cover 2018 – European land cover dataset*. European Environment Agency. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/eu_strategy_en.pdf
37. FAO. (2016). *Forests and Climate Change: A Synthesis Report*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2a65d0eb-e782-464d-91cd-f9de198f4c53/content>
38. Fischer, E. M., & Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 5(6), 560–564. <https://doi.org/10.1038/nclimate2617>
39. Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27(12), 1547–1578. <https://doi.org/10.1002/joc.1556>
40. Freedman, D., Pisani, R., & Purves, R. (2007). *Statistics* (Fourth edition). W. W. Norton & Company.
41. Geoportal ANCPI. Retrieved 1 March 2025, from <https://geoportal.ancpi.ro/portal/>

42. Ghinea, D. (2002). *Enciclopedia geografică a României* (3rd ed.). Editura Enciclopedică.
43. Global Water Partnership. (2009). *Integrated Water Resources Management*. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04.-integrated-water-resources-management-rumanian.pdf>
44. Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Schulte, R. P. O., Fernandes, R. B. A., & Fernandes-Filho, E. I. (2021). Disentangling the historic and future impacts of land use changes and climate variability on the hydrology of a mountain region in Brazil. *Journal of Hydrology*, 594, 125650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125650>
45. Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., Mitchell, J. F. B., & Wood, R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, 16(2–3), 147–168. <https://doi.org/10.1007/s003820050010>
46. Graham, L. P., Andréasson, J., & Carlsson, B. (2007). Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. *Climatic Change*, 81(S1), 293–307. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9215-2>
47. Haug, G. H., Günther, D., Peterson, L. C., Sigman, D. M., Hughen, K. A., & Aeschlimann, B. (2003). Climate and the Collapse of Maya Civilization. *Science*, 299(5613), 1731–1735. <https://doi.org/10.1126/science.1080444>
48. Hay, L. E., Clark, M. P., Wilby, R. L., Gutowski, W. J., Leavesley, G. H., Pan, Z., Arritt, R. W., & Takle, E. S. (2002). Use of Regional Climate Model Output for Hydrologic Simulations. *Journal of Hydrometeorology*, 3(5), 571–590. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2002\)003<0571:UORCMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2002)003<0571:UORCMO>2.0.CO;2)
49. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
50. Hirsch, R. M., Slack, J. R., & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107–121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>
51. Hundecha, Y., Parajka, J., & Viglione, A. (2020). Assessment of past flood changes across Europe based on flood-generating processes. *Hydrological Sciences Journal*, 65(11), 1830–1847. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1782413>
52. IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
53. IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
54. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
55. IPCC. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
56. Jennings, S. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*, 72(1), 59–74. <https://doi.org/10.1093/forestry/72.1.59>

57. Johns, T. C., Durman, C. F., Banks, H. T., Roberts, M. J., McLaren, A. J., Ridley, J. K., Senior, C. A., Williams, K. D., Jones, A., Rickard, G. J., Cusack, S., Ingram, W. J., Crucifix, M., Sexton, D. M. H., Joshi, M. M., Dong, B.-W., Spencer, H., Hill, R. S. R., Gregory, J. M., ... Searl, Y. (2006). The New Hadley Centre Climate Model (HadGEM1): Evaluation of Coupled Simulations. *Journal of Climate*, 19(7), 1327–1353. <https://doi.org/10.1175/JCLI3712.1>
58. Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M., & Morice, C. P. (2012). Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5). <https://doi.org/10.1029/2011JD017139>
59. JRC. (2013). CARPATCLIM. In *CARPATCLIM Database* © European Commission - JRC, 2013 .
60. Kiprotich, P., Wei, X., Zhang, Z., Ngigi, T., Qiu, F., & Wang, L. (2021). Assessing the Impact of Land Use and Climate Change on Surface Runoff Response Using Gridded Observations and SWAT+. *Hydrology*, 8(1), 48. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010048>
61. Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Miletta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., ... Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22(12), 1441–1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>
62. Klemes, V. (1986). Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(1), 13–24. <https://doi.org/10.1080/02626668609491024>
63. Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., & Meehl, G. A. (2010). Challenges in Combining Projections from Multiple Climate Models. *Journal of Climate*, 23(10), 2739–2758. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3361.1>
64. Kocsis, I., Haidu, I., & Maier, N. (2020). *Application of a Hydrological MIKE HYDRO River – UHM Model for Valea Rea River (Romania). Case Study, Flash Flood Event Occurred on August 1st, 2019*. 257–272. https://doi.org/10.24193/AWC2020_24
65. Kumar, V., Jain, S. K., & Singh, Y. (2010). Analysis of long-term rainfall trends in India. *Hydrological Sciences Journal*, 55(4), 484–496. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.481373>
66. Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., & Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>
67. Legea nr. 107 din 25 septembrie 1996 privind Legea Apelor, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 244 din 26 martie 2006.
68. Loi, D. T., Chou, T.-Y., & Fang, Y.-M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8(8), 539–542. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.8.1012>
69. Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245. <https://doi.org/10.2307/1907187>

70. Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., Brien, S., Rust, H. W., Sauter, T., Themeßl, M., Venema, V. K. C., Chun, K. P., Goodess, C. M., Jones, R. G., Onof, C., Vrac, M., & Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3), RG3003. <https://doi.org/10.1029/2009RG000314>
71. Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), 68–78. <https://doi.org/10.1080/01621459.1951.10500769>
72. Maurice G. Kendall. (1970). *Rank correlation methods* (4th ed.). Griffin.
73. McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia Medica*, 276–282. <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>
74. Meteomanz. Retrieved 1 March 2025, from www.meteomanz.com
75. Mic, R.-P., & Corbus, C. (2013, June 20). *Climatic Change Impact on the Mean Monthly and Annual Discharge of Some River and Their Tributaries*. <https://doi.org/10.5593/SGEM2013/BC3/S12.008>
76. Micu, D. M., Amihaesei, V. A., Milian, N., & Cheval, S. (2021). Recent changes in temperature and precipitation indices in the Southern Carpathians, Romania (1961–2018). *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1–2), 691–710. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03560-w>
77. Mihai, B.-A. (2007). *Remote Sensing. Introduction to Digital Image Processing (in Romanian—Teledetectie. Vol 1. Procesarea Digitala a Imaginilor)*. Edit. Universitatii din Bucuresti.
78. Minea, I. (2020). *The Vulnerability of Water Resources from Eastern Romania to Anthropogenic Impact and Climate Change* (pp. 229–250). https://doi.org/10.1007/978-3-030-22320-5_7
79. Ministerul Mediului si Schimbarilor Climatice. (2013). *Strategia națională a României privind schimbările climatice 2013-2020*.
80. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
81. Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., & Martius, O. (2021). River runoff in Switzerland in a changing climate – runoff regime changes and their time of emergence. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(6), 3071–3086. <https://doi.org/10.5194/hess-25-3071-2021>
82. Mutihac, V., & Stratulat, M. (2007). *Geologia României*. Editura Tehnică.
83. NASA. (2020). *Earth Observing System Data and Information System*. <https://www.earthdata.nasa.gov/about/esdis/eosdis>
84. NASA. (2021). *Global Climate Change: Vital Signs of the Planet*. <https://science.nasa.gov/climate-change/>
85. NASA. (2022). *Applied Sciences Program: Water Resources*. <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset/arset-water-resources-trainings>
86. Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

87. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation: Version 2009*.
<https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>
88. NOAA. (2020). *National Weather Service: Hydrologic Information Center*.
<https://www.weather.gov/water>
89. NOAA. (2021). *Climate Prediction Center: Monitoring and Data*.
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring_and_data
90. NOAA. (2022). *Regional Climate Centers: Climate Data and Services*.
<https://www.ncdc.noaa.gov/customer-support/partnerships/regional-climate-centers>
91. Patriche, C. V. (2009). *Metode statistice aplicate în climatologie*. Terra Nostra.
https://www.researchgate.net/publication/261239671_Metode_statistice_aplicate_in_climatologie
92. Pearson, K. (1895). Note on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240–242.
<http://www.jstor.org/stable/115794>
93. Pielke Sr., R. A., Adegoke, J., Beltrán-Przekurat, A., Hiemstra, C. A., Lin, J., Nair, U. S., Niyogi, D., & Nobis, T. E. (2007). An overview of regional land-use and land-cover impacts on rainfall. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 59(3), 587.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00251.x>
94. Posea, G. (1974). *Geografia Fizică a României*. Editura Științifică.
95. Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., & et. al. (2007). Climate Models and Their Evaluation. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & Miller H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
96. Refsgaard, J. C., & Knudsen, J. (1996). Operational Validation and Intercomparison of Different Types of Hydrological Models. *Water Resources Research*, 32(7), 2189–2202.
<https://doi.org/10.1029/96WR00896>
97. Rikimaru, A. (1999). *The Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. FCD Mapper User's Guide*.
98. Rikimaru, A., Roy, P. S., & Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43, 39–47.
99. Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., & Tarantola, S. (2007). *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470725184>
100. Sandu, I., Mateescu, E., & Vătămanu, V. V. (2010). *Schimbări Climatice în România și efectele asupra agriculturii*. Sitech.
101. Schär, C., Frei, C., Lüthi, D., & Davies, H. C. (1996). Surrogate climate-change scenarios for regional climate models. *Geophysical Research Letters*, 23(6), 669–672.
<https://doi.org/10.1029/96GL00265>
102. Secci, D., Tanda, M. G., D'Oria, M., Todaro, V., & Fagandini, C. (2021). Impacts of climate change on groundwater droughts by means of standardized indices and regional climate models. *Journal of Hydrology*, 603, 127154.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127154>
103. Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

104. Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
105. Sidău, M. R., Croitoru, A.-E., & Alexandru, D.-E. (2021). Comparative Analysis between Daily Extreme Temperature and Precipitation Values Derived from Observations and Gridded Datasets in North-Western Romania. *Atmosphere*, 12(3), 361. <https://doi.org/10.3390/atmos12030361>
106. Sidău, M. R., Horváth, C., Cheveresan, M., Şandric, I., & Stoica, F. (2021). Assessing Hydrological Impact of Forested Area Change: A Remote Sensing Case Study. *Atmosphere*, 12(7), 817. <https://doi.org/10.3390/atmos12070817>
107. Singh, V. P., & Woolhiser, D. A. (2002). Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(4), 270–292. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:4\(270\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270))
108. Soil Conservation Service. (1972). *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*. Department of Agriculture.
109. Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: The Principles and Practices of Statistics in Biological Research* (Third (3rd) Edition). W.H. Freeman and Co.
110. Steinke, A., Flores, A., Han, B., Brandt, J., & Som Castellano, R. (2017). Modeled impacts of climate change on regional hydrology in the Upper Boise River Basin, Idaho. In *Boise State Data Sets*. The Lab for Ecohydrology and Alternative Futuring. <https://doi.org/10.18122/B2LEAFD002>
111. Szentimrey, T. (2011). *Manual of homogenization software MASHv3.03*. . Hungarian Meteorological Service.
112. Szentimrey T., & Bihari Z. (2005). *Manual of interpolation software MISHv1.01*. Hungarian Meteorological Service.
113. Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2011). Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 79(1–2), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.07.008>
114. Tang, J., Niu, X., Wang, S., Gao, H., Wang, X., & Wu, J. (2016). Statistical downscaling and dynamical downscaling of regional climate in China: Present climate evaluations and future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(5), 2110–2129. <https://doi.org/10.1002/2015JD023977>
115. Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183–7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
116. Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
117. Truong, N. C. Q., Nguyen, H. Q., & Kondoh, A. (2018). Land Use and Land Cover Changes and Their Effect on the Flow Regime in the Upstream Dong Nai River Basin, Vietnam. *Water*, 10(9), 1206. <https://doi.org/10.3390/w10091206>
118. UNEP. (2018). *The Adaptation Gap Report 2018*. . <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2018>
119. UNEP. (2021). *Annual Report - Making peace with Nature*.
120. UNESCO World Water Assessment Programme. (2019). *The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>

121. United Nations Development Programme (UNDP). (2010). *Designing climate change adaptation initiatives: A UNDP toolkit for practitioners*. . https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/951013_Toolkit%20for%20Designing%20Climate%20Change%20Adaptation%20Initiatives.pdf
122. USGS. (n.d.). *Global Visualization Viewer (GloVis)*. Retrieved 1 March 2025, from <https://glovis.usgs.gov/>
123. van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1–2), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
124. Viviroli, D., Archer, D. R., Buytaert, W., Fowler, H. J., Greenwood, G. B., Hamlet, A. F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M. I., López-Moreno, J. I., Lorentz, S., Schädler, B., Schreier, H., Schwaiger, K., Vuille, M., & Woods, R. (2011). Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 471–504. <https://doi.org/10.5194/hess-15-471-2011>
125. Weiss, H., Courty, M.-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R., & Curnow, A. (1993). The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization. *Science*, 261(5124), 995–1004. <https://doi.org/10.1126/science.261.5124.995>
126. Wilby, R. L., & Dawson, C. W. (2013). The Statistical DownScaling Model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707–1719. <https://doi.org/10.1002/joc.3544>
127. William J. Mitsch, & James G. Gosselink. (2015). *Wetlands, 5th Edition* (5th Edition). John Wiley & Sons.
128. World Bank. (2013). *Evaluarea rapidă a resurselor integrate de apă*. <https://documents1.worldbank.org/curated/pt/371451468296128229/pdf/842640ROMANIAN0ment0FINAL0ro0Mar03.pdf>
129. World Meteorological Organization. (2017). *Integrating flood risks in development strategies for water resources management*.
130. Yeste, P., Rosa-Cánovas, J. J., Romero-Jiménez, E., Ojeda, M. G.-V., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2024). *Projected hydrologic changes over the north of the Iberian Peninsula using a Euro-CORDEX multi-model ensemble*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146126>
131. Zaharia, L., Perju, R., & Ioana-Toroimac, G. (2018). *Climate Changes and Effects on River Flow in The Romanian Carpathians*. 211–218. https://doi.org/10.24193/AWC2018_25